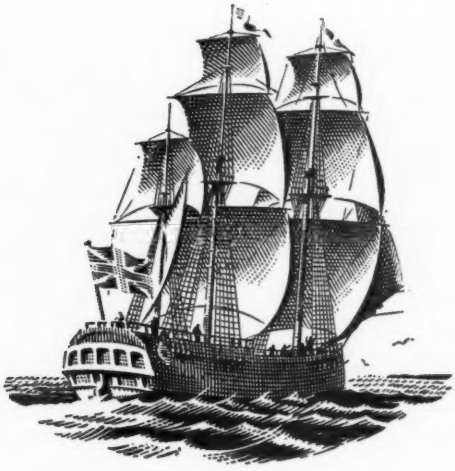
ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad



VOLUMEN XVI · 1957

INDICE DE AUTORES

ANDRADE, E. N. DA C.: Las primeras bombas neumáticas. 29.
AUSTIN, C. R.: *vid.* BISHOP, M. W. H. y AUSTIN, C. R.
BATES, L. F.: Los recintos ferromagnéticos. 151.
BISHOP, M. W. H. y AUSTIN, C. R.: Los espermatozoos de los mamíferos. 137.
BOWDEN, F. P.: Adhesión y fricción. 5.
BRIAN, P. W. y GROVE, John Frederick: El ácido gibberélico. 161.
EDITORIAL
Heinrich Hertz (1857–1894). 3.
La unidad del conocimiento. 63.
El comienzo del Año Geofísico Internacional. 123.
Un tecnólogo olvidado: Réaumur. 183.
GROVE, John Frederick: *vid.* BRIAN, P. W. y GROVE, John Frederick.
GUTFREUND, H.: Nuevas técnicas para el estudio de mecanismos enzimáticos. 217.
HINTON, Sir Christopher: Los reactores nucleares para la producción de energía eléctrica. 65.
HUDSON, J. P.: Las plantas y su necesidad de agua. 84.
INGOLD, C. T.: La liberación de esporas en los hongos superiores. 78.
JAMES, W. O.: Linneo (1707–1778). 107.
KREBS, H. A.: El control de los procesos metabólicos. 125.
MARKHAM, R.: Enfermedades virúsicas de las plantas y su identificación. 99.
MCKIE, Douglas: Macquer, primer lexicógrafo químico. 133.
MILLOTT, N.: La fotosensibilidad animal, con especial referencia a las formas sin ojos. 19.
OVEREND, W. G. y PEACOCKE, A. R.: La base molecular de la herencia. 90.
PATON, James: Auroras polares y tropicales. 42.
PEACOCKE, A. R.: *vid.* OVEREND, W. G. y PEACOCKE, A. R.
PINKERTON, J. M. M.: Desarrollos recientes en los computadores electrónicos. 36.
PORTER, G.: La química de las altas temperaturas. 224.
RICHARDS, R. E.: La resonancia magnética nuclear. 185.
ROBERTSON, R. N.: Los electrolitos en tejidos vegetales. 193.
SANGER, F. y SMITH, L. F.: La estructura de la insulina. 48.
SMITH, Cyril Stanley: El tratamiento artístico de las superficies metálicas. 199.
SMITH, L. F.: *vid.* SANGER, F. y SMITH, L. F.
WARBURG, E. F.: Azafranes y plantas similares. 209.

REVISTA DE LIBROS

ABETTI, G.: (Traducido al inglés por SIDGWICK, J. B.) The Sun. 172.
ACHESON, R. M.: Acridines. 174.
ADAM, N. K.: Physical Chemistry. 57.
AHRENS, L. H., RANHAMA, Kalervo y RUNCORN, S. K. (Compiladores): Physics and Chemistry of the Earth, Vol. I. 56.
ANDRADE, E. N. DA C.: An Approach to Modern Physics. 172.
ASTLE, MARVIN J.: The Chemistry of Petrochemicals. 231.
ATKIN, R. H.: Mathematics and Wave Mechanics. 230.
BALMER, H.: Beiträge zur Geschichte der Erkenntnis des Erdmagnetismus. 175.
BÄRNER, J. (Compilador): Bibliographie der Pflanzenschutzliteratur, 1951. 54.
BAUER, K. Fr. (Compilador): Ergebnisse der medizinischen Grundlagenforschung, Vol. I. 117.
BECKERLEY, James G. (Compilador): Annual Review of Nuclear Science, Vol. V. 113.
BELLAIRS, Angus D'A.: Reptiles. 176.
BEYER, Hans: Lehrbuch der organischen Chemie (tercera/cuarta edición). 114.
BJORKSTEN, J., TOVEY, H., HARKER, B. y HENNING, J.: Polyesters and their Applications. 115.
BLACKETT, P. M. S.: Lectures on Rock Magnetism. 115.
BLICKE, F. F. y COX, R. H. (Compiladores): Medicinal Chemistry, Vol. III. 177.
BOSWORTH, R. C. L.: Transport Processes in Applied Chemistry. 174.
BOYD, J. D., LE GROS CLARK, Sir Wilfrid, HAMILTON, W. J., YOFFEY, J. M., ZUCKERMAN, Sir Solly y APPLETON, A. M.: Textbook of Human Anatomy. 176.
British Medical Bulletin, Vol. XII, No. II (Neuro-Otology). 117.
BURNET, Sir Macfarlane: Enzyme Antigen and Virus. 175.
CAHN, Théophile: La régulation des processus métaboliques dans l'organisme. 54.
CAIRNS, T. L. (Compilador): Organic Syntheses, Vol. XXXV. 57.
CAMERON, Thomas W. M.: Parasites and Parasitism. 116.
CARDWELL, D. S. L.: The Organisation of Science in England. 172.
CARTER, C. F. y WILLIAMS, B. R.: Industry and Technical Progress. 234.
CHARPIE, R. A., HOROWITZ, J., HUGHES, D. J. y LITTLER, D. J. (Compiladores): Progress in Nuclear Physics, Serie I: Physics and Mathematics, Vol. I. 113.
COBLEY, Leslie S.: An Introduction to the Botany of Tropical Crops. 176.
COWLING, T. G.: Magnetohydrodynamics. 173.
CRANK, J.: The Mathematics of Diffusion. 113.
DANJON, A., PRUVOST, P. y BLANCHE, J.: (Directores de la edición): Encylopédie Française. Vol. III, Le ciel et la terre. 230.
DARLINGTON, C. D.: Chromosome Botany. 116.
DOUGLAS, A. Vibert: The Life of Arthur Stanley Eddington. 178.
ELDERFIELD, Robert C. (Compilador): Heterocyclic Compounds, Vol. V. 231.
Enzymes and Metabolism. 54.
FERRI, Cesare: Guida dei principali prodotti chimici, Vol. I. 177.
FISHER, Sir Ronald: Statistical Methods and Scientific Inference. 112.
GARRETT, S. D.: Biology of Root Infecting Fungi. 55.
GAYLORD, N. G.: Reduction with Complex Metal Hydrides. 174.
GLASSTONE, Samuel: Principles of Nuclear Reactor Engineering. 56.
GODWIN, H.: The History of the British Flora. 116.
GRASSÉ, P.-P. (Director de la edición): Traité de zoologie, Vol. XVII, Mammifères. Les ordres: anatomie, éthologie, systématique. 117.
GREEN, David E. (Compilador): Currents in Biochemical Research, 1956. 115.
GUILD, J.: The Interference Systems of Crossed Diffraction Gratings. Theory of Moiré Fringes. 55.
GUSTAVSON, K. H.: The Chemistry and Reactivity of Collagen. 57.
GUSTAVSON, K. H.: The Chemistry of Tanning Processes. 57.
HAGERUP, O. y PETERSSON, V.: Botanisk Atlas. 176.
HAÏSSINSKY, M.: Actions chimiques et biologiques des radiations. 175.
HALPERN, B. N., BENACERRAF, B. y DELAFRESNAYE, J. F. Physiopathology of the Reticulo-Endothelial System. 233.
HARDY, Alister C.: The Open Sea: Its Natural History: The World of Plankton. 176.
HARVEY, William: (Traducido al inglés de su original latino por FRANKLIN, Kenneth J.) Movement of the Heart and Blood in Animals. 233.
HAYWOOD, F. W. y WOOD, A. A. R.: Metallurgical Analysis by means of the Spekker Photoelectric Absorptiometer. 174.
HEILBRUNN, L. V.: The Dynamics of Living Protoplasm. 54.
HOLMYARD, E. J.: Alchemy. 112.
HORSFALL, James G.: Principles of Fungicidal Action. 55.
INGOLD, C. K.: Introduction to Structure in Organic Chemistry. 230.
KAYE, G. W. C. y LABY, T. H.: Tables of Physical and Chemical Constants and some Mathematical Functions (11ª edición). 55.
KITTEL, Charles: Introduction to Solid State Physics (2ª edición). 173.
MEETHAM, A. R.: Atmospheric Pollution—Its Origins and Prevention (2ª edición). 118.
MEREDITH, R. (Compilador): The Mechanical Properties of Textile Fibres. 173.
MICOVIC, V. M. y MIHAILOVIC, M. L.: Lithium Aluminium Hydride in Organic Chemistry. 57.

NEEDHAM, Joseph: Science and Civilisation in China. Vol. II, History of Scientific Thought. 178.
NORTHCOTT, L.: Metallurgy of the Rarer Metals, Nº 5: Molybdenum. 118.
NYE, J. F.: Physical Properties of Crystals. 230.
ONG, E. R. DE: Chemistry and Uses of Pesticides (2ª edición). 118.
PASCAL, Paul (Compilador): Nouveau traité de chimie minérale. Vol. I: Généralités, air, eau, hydrogène, deutérium, tritium, hélium et gaz inertes. 58.
PAYNE-GAPOSCHKIN, Cecilia: Introduction to Astronomy. 54.
Peaceful Uses of Atomic Energy. Proceedings of the International Conference in Geneva, August 1955. Vol. II, Physics, Research Reactors. Vol. III, Power Reactors. Vol. IV, Cross-Sections Important to Reactor Design. Vol. V. Physics of Reactor Design. 113. Vol. VII, Nuclear Chemistry and the Effects of Irradiation. 58. Vol. IX, Reactor Technology and Chemical Processing. 56. Vol. XV, Applications of Radioactive Isotopes and Fission Products in Research and Industry. 55.
PHILLIPS, Courtenay: Gas Chromatography. 58.
Plant Protection Conference 1956. 233.
PLENDERLEITH, H. J.: The Conservation of Antiquities and Works of Art. 177.
POPJAK, G. y LE BRETON, E. (Compiladores): Biochemical Problems of Lipids. 175.
PORTER, M. W. y SPILLER, R. C.: The Barker Index of Crystals, Vol. II. 175.
PRZIBRAM, Karl: (Traducido al inglés y revisado por CAFFYN, J. E.) Irradiation Colours and Luminescence. 56.
Réaumur's Memoirs on Steel and Iron. (Traducción al inglés de Anneliese Grünhaldt Sisco). 178.
SCHUMB, W. C., SATTERFIELD, C. N. y WENTWORTH, R. L.: Hydrogen Peroxide. 114.
SHOLL, D. A.: The Organization of the Cerebral Cortex. 117.
Simposio de la Society for Experimental Biology. Mitochondria and other Cytoplasmic Inclusions. 232.
SINGER, Charles, HOLMYARD, E. J., HALL, A. R. y WILLIAMS, Trevor I. (Directores de la edición): A History of Technology, Vol. II. The Mediterranean Civilizations and the Middle Ages. 234.
SNODGRASS, R. E.: Anatomy of the Honey Bee. 117.
SOUTHWELL, Sir Richard: Relaxation Methods in Theoretical Physics. Vol. II. 173.
SPENCER-GREGORY, H. y ROURKE, E.: Hygrometry. 230.
SWAINGER, K.: Analysis of Deformation, Vol. III. Fluidity. 173.
TODD, Sir Alexander (Compilador): Perspectives in Organic Chemistry. 114.
TREIBS, W. y BOURNOT, K. (Compiladores): Die ätherischen Öle (Gildemeister-Hoffmann). Vol. IV. 118.
TREYBAL, Robert E.: Mass-transfer Operations. 58.
UMEZAWA, H.: Quantum Field Theory. 113.
VOGEL, Arthur I.: A Textbook of Practical Organic Chemistry, including Qualitative Organic Analysis (3ª edición). 115.
WARTH, A. H.: The Chemistry and Technology of Waxes (2ª edición). 177.
WILLIAMS, R. J.: Biochemical Individuality. 231.
WOLSTENHOLME, G. E. W. y MILLER, E. C. P. (Compiladores): The Nature of Viruses (Simposio de la Ciba Foundation). 231.
YOUNG, J. Z.: The Life of Mammals. 232.

INDICE DE MATERIAS

La clasificación de los artículos por materias va ordenada según el sistema de Clasificación Decimal Universal (Standard británico 1000) (Edición abreviada española, Madrid. 1953). En la página IV aparece una clave alfabética.

001 CIENCIA GENERAL

001.1:070.432 La unidad del conocimiento (Editorial). 63.

41 LEXICOGRAFIA

413:92:54 Macquer, primer lexicógrafo químico. McKIE, Douglas. 133.

5 CIENCIAS NATURALES

53/59:66 :070.432:92 Un tecnólogo olvidado: Réaumur (Editorial). 183

53 FISICA

531.4:539.62 Adhesión y fricción. BOWDEN, F. P. 5.
533.5(091) Las primeras bombas neumáticas. ANDRADE, E. N. DA C. 29.
538.245 Los recintos ferromagnéticos. BATES, L. F. 151.
538.56:070.432 :92 Heinrich Hertz (1857–1894) (Editorial). 3.
539.154.3:545.8 La resonancia magnética nuclear. RICHARDS, R. E. 185.
539.62:531.4 Adhesión y fricción. BOWDEN, F. P. 5.

54 QUIMICA

54:413:92 Macquer, primer lexicógrafo químico. McKIE, Douglas. 133.
541.118 La química de las altas temperaturas. PORTER, G. 224.
541.12 :577.15.084 Nuevas técnicas para el estudio de mecanismos enzimáticos. GUTFREUND, H. 217.
541.135.2 :581.175 Los electrolitos en tejidos vegetales. ROBERTSON, R. N. 193.
545.8:539.154.3 La resonancia magnética nuclear. RICHARDS, R. E. 185.
547.757:581.143 El ácido gibberélico. BRIAN, P. W. y GROVE, John Frederick. 161.
547.962.4 :577.18 La estructura de la insulina. SANGER, F. y SMITH, L. F. 48.
547.963.32 :575.112 :576.312.2 La base molecular de la herencia. OVEREND, W. G. y PEACOCKE, A. R. 90.

55 GEOFISICA

550(100) «1957/58» :070.432 El comienzo del Año Geofísico Internacional (Editorial). 123.
551.594.5 Auroras polares y tropicales. PATON, James. 42.

57 CIENCIAS BIOLOGICAS

575.112 :576.312.2 :547.963.32 La base molecular de la herencia. OVEREND, W. G. y PEACOCKE, A. R. 90.
576.312.2 :547.963.32 :575.112 *Idem.*
576.34:577.15 El control de los procesos metabólicos. KREBS, H. A. 125.
576.858:581.23 Enfermedades virúsicas de las plantas y su identificación. MARKHAM, R. 99.
577.15:576.34 El control de los procesos metabólicos. KREBS, H. A. 125.
577.15.084 :541.12 Nuevas técnicas para el estudio de mecanismos enzimáticos. GUTFREUND, H. 217.
577.18 :547.962.4 La estructura de la insulina. SANGER, F. y SMITH, L. F. 48.

58 BOTANICA

581.111:631.43 Las plantas y su necesidad de agua. HUDSON, J. P. 84.
581.143:547.757 El ácido gibberélico. BRIAN, P. W. y GROVE, John Frederick. 161.
581.175 :541.135.2 Los electrolitos en los tejidos vegetales. ROBERTSON, R. N. 193.
581.23:576.858 Enfermedades virúsicas de las plantas y su identificación. MARKHAM, R. 99.
581.332:582.28 La liberación de esporas en los hongos superiores. INGOLD, C. T. 78.
582:92 Linneo (1707–1778). JAMES, W. O. 107.
582.28:581.332 La liberación de esporas en los hongos superiores. INGOLD, C. T. 78.
582.579 Azafranes y plantas similares. WARBURG, E. F. 209.

59 ZOOLOGIA

591.185.6 La fotosensibilidad animal, con especial referencia a las formas sin ojos. MILLOTT, N. 19.
591.463.1:599 Los espermatozoos de los mamíferos. BISHOP, M. W. H. y AUSTIN, C. R. 137.
599:591.463.1 *Idem.*

62 INGENIERIA

620.183:669.017 :623.444.2 :739.7 El tratamiento artístico de las superficies metálicas. SMITH, Cyril Stanley. 199.
621.039.42 :621.311.2 Los reactores nucleares para la producción de energía eléctrica. HINTON, Sir Christopher. 65.
621.311.2 :621.039.42 *Idem.*
621.37/.38 :681.14 Desarrollos recientes en los computadores electrónicos. PINKERTON, J. M. M. 36.
623.444.2:739.7 :669.017 :620.183 El tratamiento artístico de las superficies metálicas. SMITH, Cyril Stanley. 199.

63 AGRICULTURA SELVICULTURA

631.43:581.111 Las plantas y su necesidad de agua. HUDSON, J. P. 84.

66/69 TECNOLOGIA

66:070.432 :92:53/59 Un tecnólogo olvidado: Réaumur (Editorial). 183.
669.017:739.7 :623444.2 :620.183 El tratamiento artístico de las superficies metálicas. SMITH, Cyril Stanley. 199.
681.14 :621.37/.38 Desarrollos recientes en los computadores electrónicos. PINKERTON, J. M. M. 36.

73/75 BELLAS ARTES

739.7:620.183 :669.017 :623.444.2 El tratamiento artístico de las superficies metálicas. SMITH, Cyril Stanley. 199.

92 BIOGRAFIAS

92:53/59 :66:070.432 Un tecnólogo olvidado: Réaumur (Editorial). 183.
92:538.56 :070.432 Heinrich Hertz (1857–1894) (Editorial). 3.
92:54:413 Macquer, primer lexicógrafo químico. MCKIE, Douglas. 133.
92:582 Linneo (1707–1778). JAMES, W. O. 107.

CLAVE ALFABETICA

Acido gibberélico 547.757
Acidos nucleicos 547.963.32
Adhesión 539.6
Agricultura 63
Aminoácidos
  Insulina 547.962
Año Geofísico Internacional 55
Auroras 551.594.5
Azafranes 582.579

Biografía 92
Biología 57
Bioquímica 577
Bombas neumáticas
  Historia 533.5
Botánica 581

Centrales nucleares 621.311.2
Cinética de reacción
  Alta temperatura 541.11
  Enzimas 541.12
Citología 576.3
Computadores electrónicos 621.37/.38
Crecimiento
  Plantas 581.143
Crocus 582.579

Diccionarios
  Química 413

Edafología 631.4
Electrolitos
  Tejidos vegetales 541.135.2
Electromagnetismo 538.56
Electrotecnia 621.3
Energía nuclear 621.039
Enfermedades virúsicas
  Plantas 576.858
Enzimas 577.15
  Mecanismo de reacción 577.15.084
Espadas
  Estructura metálica 623.444.2
Espectros
  Resonancia magnética nuclear 539.154.3
Espermatozoos
  Mamíferos 591.463.1
Esporación 581.332
Estructura molecular
  Resonancia magnética nuclear 545.8

Ferromagnetismo 538
Física 53
Fisiología
  Animal 591.1
  Vegetal 581.1/.3
Fitopatología 581.23

Fotosensibilidad animal 591.185.6
Fricción 539.62

Genética 575
Geofísica 55

Herencia
  Base molecular 575.112
Hertz, Heinrich 92
Historia de las ciencias 53(091)
Hongos 582.28
Hormonas
  Insulina 577.18

Ingeniería 621
Insulina 547.962.4

Linneo 92

Macquer, P.-J. 92:54
Máquinas computadoras 681.14
Mecánica 531
Metabolismo 576.34
Metalografía 669.017
Micología 582.2
Mitocondrias
  Células vegetales 581.17

Plantas
  Necesidad de agua 581.1
Producción de energía eléctrica 621.311.2

Química
  Alta temperatura 541.118
  Lexicografía 54:413

Reactores nucleares 621.039.42
Réaumur, R.-A. F. de 92
Recintos ferromagnéticos 538.245
Resonancia magnética nuclear 539.145.3
Riego 631.43

Superficies metálicas
  Tratamiento al ácido 620.183

Taxonomía
  Botánica 58
Tecnología 66
Tratamiento artístico
  Superficies metálicas 739.7

Vacío
  Tecnología 533
Virus vegetales 576.858

Zoología 59

Impreso en la Gran Bretaña en THE KYNOCH PRESS, *Witton, Birmingham, 6, para los editores,* IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, *Londres, S.W.1*

ENDEAVOUR

Revista trimestral destinada a registrar el progreso de las ciencias al servicio de la humanidad

---

VOLUMEN XVI Enero 1957 NUMERO 61

SUMARIO

070.432:92:538.56
Editorial: Heinrich Hertz 3

In memoriam: John A. Wilcken 4

539.62:531.4
Adhesión y fricción — F. P. BOWDEN — 5

591.185.6
La fotosensibilidad animal, con especial referencia a las formas sin ojos — N. MILLOTT — 19

533.5(091)
Las primeras bombas neumáticas — E. N. DA C. ANDRADE — 29

681.14:621.37/.38
Desarrollos recientes en los computadores electrónicos — J. M. M. PINKERTON — 36

551.594.5
Auroras polares y tropicales — JAMES PATON — 42

547.962.4:577.18
La estructura de la insulina — F. SANGER y L. F. SMITH — 48

049.3
Revista de libros 54

Revistas resumidas de libros 59

Notas sobre los colaboradores 60

Libros recibidos .. .. Cubierta III

Redactor-jefe: TREVOR I. WILLIAMS
(*Ediciones extranjeras:* G. N. J. BECK)

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Toda comunicación a los editores debe dirigirse a North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

Heinrich Hertz (1857-1894)

Según la ley de Newton, la atracción entre dos cuerpos depende únicamente de la distancia que los separa, sin que influya la materia intermediaria. Sin embargo, Newton no creía en la acción a distancia, en la que el medio no representa papel alguno. Con todo, la doctrina de la acción a distancia, expresable en términos de las posiciones (y posiblemente también de las mociones) de los cuerpos interactuantes encontró gran apoyo en las escuelas científicas alemanas y francesas durante el siglo XIX. Con W. Weber y otros investigadores, la teoría de la electricidad se desarrolló sobre esta base de un estado de gran perfección. La escuela física inglesa, por otra parte, no favorecía la doctrina de la acción directa a distancia. Faraday creía firmemente que la acción entre dos cuerpos cargados eléctricamente se transmitía por un medio existente entre ellos, siendo, a su parecer, inconcebible que pudiese existir una acción entre dos cuerpos separados espacialmente sin que se produjese un cambio en el medio. Este medio era para él el asiento de todo un sistema de tensiones que podía representarse por la atracción a lo largo de las líneas de fuerza eléctrica en cada punto, junto con una presión lateral o repulsión mutua entre dichas líneas.

La traducción de las ideas de Faraday a un lenguaje matemático fue la gran obra de Clerk Maxwell. Su teoría, ya plenamente desarrollada, se publicó en 1873, en su tratado clásico *Electricity and Magnetism*, en el que demostró que todos los fenómenos eléctricos y magnéticos podían reducirse a tensiones y mociones de un medio material. Probó asimismo que la propagación de las alteraciones eléctricas se parece a la de la luz, no vacilando en afirmar la identidad de ambos fenómenos. Señaló que si el medio necesario para la explicación de los fenómenos electromagnéticos es el mismo que el que exigen los fenómenos luminosos, la velocidad de la luz en el vacío debe ser numéricamente igual a la razón entre las unidades electromagnética y electrostática. Las más exactas determinaciones asequibles en aquel tiempo parecían confirmar tal noción. De ahí Maxwell concluía que «difícilmente podemos evitar la conclusión de que la luz consiste en las ondulaciones transversales del mismo medio que causa los fenómenos eléctricos y magnéticos».

La teoría de Maxwell implicaba conceptos noveles y, en especial, la noción de una corriente de desplazamiento en un medio dieléctrico, proporcional a la velocidad de aumento de la fuerza eléctrica en el dieléctrico, lo que produce efectos magnéticos idénticos a los de una corriente verdadera. Incluyendo la corriente de desplazamiento como una continuación a través del dieléctrico de la corriente empleada para cargar un condensador, la corriente resulta un vector circuital, es decir, que se puede considerar que fluye en circuito cerrado. Para Maxwell, la energía magnética es la energía cinética de un medio que ocupa el espacio todo, mientras que la energía eléctrica es la energía tensional del mismo medio. Para la mayoría de los contemporáneos de Maxwell, tales concepciones estaban tan alejadas de las nociones corrientes basadas en la acción a distancia que encontraron graves dificultades para aceptarlas. Debemos principalmente a los trabajos de Heinrich Hertz, cuyo centenario se cumple este año, el que tan importantes conceptos recibiesen aceptación general. Hertz llegó a descubrir las ondas eléctricas cuya existencia había deducido Maxwell como una consecuencia esencial de su teoría, y mostró que sus propiedades eran idénticas a las de las ondas luminosas, facilitando así la prueba experimental de las hipótesis sobre las que se basaba su teoría.

Hertz nació el 22 de febrero de 1857 en Hamburgo. Durante sus años de escolar en Hamburgo Hertz se interesó en la construcción de instrumentos ópticos y mecánicos, eligiendo la carrera de ingeniero al terminar sus estudios de segunda enseñanza. Sin embargo, pronto se sintió más y más atraído hacia la ciencia pura, y al cabo de dos años decidió abandonar sus estudios de ingeniería para dedicarse a la investigación. En el otoño de 1878 fue a Berlin, donde trabajó en el laboratorio de Helmholtz, quien rápidamente percibió notable talento en su nuevo alumno, nombrándole ayudante suyo en octubre 1880.

En 1883 Hertz fue nombrado *Privat-dozent* en Kiel, donde comenzó seriamente el estudio de la electromagnética maxwelliana, y en 1884 publicó un trabajo en el que intentaba justificar sobre una base teórica las ecuaciones de Maxwell, llegando a la conclusión de que, por diversas razones, el sistema de Maxwell era preferible al basado en la acción directa a distancia. Nombrado profesor de física en Karlsruhe, en 1885, Hertz dedicó su atención a la posibilidad de verificar la teoría maxwelliana por medio de experimentos directos, lo cual consiguió mediante una serie de

investigaciones durante los cinco años siguientes.

En el primer experimento hizo un rectángulo de alambre de cobre, dejando un espacio entre ambos extremos del alambre. Si el alambre se conecta a un circuito a través del cual pasa la descarga de una bobina de inducción, resultaba que se producía una chispa en el espacio abierto del circuito. El descubrimiento siguiente fue que también se producía la chispa en el circuito abierto aunque no hubiera conexión alguna con el circuito oscilante, siempre que las dimensiones del circuito ordinario fuesen tales que se encontrase en quasi-resonancia con el primario. El circuito abierto servía así para registrar efectos eléctricos en un circuito oscilante a distancia, que era todo lo que se necesitaba para observar la propagación de las ondas eléctricas en el espacio libre.

Hertz construyó un oscilador que consistía de dos láminas de metal en un mismo plano, cada una de las cuales tenía un alambre en proyección hacia la otra lámina que terminaba en una esferilla. La excitación se producía por conexión con los terminales de una bobina de inducción. La escasa capacitancia y autoinductancia de este oscilador servían para suministrar a Hertz ondas de una longitud suficientemente corta (unos 24 cm) para poder ser utilizadas en el laboratorio. Su detector, ya descrito, tenía tales dimensiones que su período oscilatorio libre era igual al del oscilador primario.

Hertz mostró primeramente que los fenómenos observados sufrían modificaciones si se acercaba una substancia aisladora al aparato, probándose así que las alteraciones eléctricas en los aisladores van acompañadas no sólo de acciones electrostáticas, sino también de acciones electromagnéticas. Transmitiendo la alteración desde el oscilador primario a través de dos caminos distintos (el aire y un alambre), Hertz obtuvo efectos de interferencia, probando así que las acciones electromagnéticas se propagan con una velocidad finita. Por medio de otros experimentos llegó a la conclusión de que esa velocidad era del mismo orden que la de la luz.

Otras investigaciones establecieron la esencial similaridad de las ondas eléctricas y luminosas. Reflejando las ondas eléctricas en la superficie de un muro produjo ondas estáticas por interferencia entre los haces directo y reflejado; la transmisión de las ondas a través de un orificio en una pantalla sirvió para probar que se propagan en línea recta con efectos de difracción. La refracción de las ondas se obtuvo haciéndolas atravesar un prisma de brea endurecida, y la polarización haciéndolas pasar por una rejilla de alambres paralelos.

En 1889 Hertz fue nombrado catedrático de física de la Universidad de Bonn y durante los pocos años que transcurrieron hasta su muerte se ocupó en el estudio lógico de los principios fundamentales de la mecánica. En 1893 cayó enfermo, y murió el 1° de enero de 1894 después de una penosa enfermedad. Su muerte, a edad tan temprana y en el momento de su mayor potencia mental, fue una gran pérdida para la ciencia.

In memoriam: John A. Wilcken

Con profundo pesar comunicamos a nuestros lectores el fallecimiento, el 9 de octubre de 1956, a los setenta y cinco años, del Dr. John Adolf Wilcken, director de las ediciones en lengua extranjera de *Endeavour* desde la aparición de la revista en 1942. El meticuloso cuidado y atención que dedicó a la preparación de las cuatro ediciones extranjeras explica en gran parte el éxito alcanzado por *Endeavour* en el extranjero.

J. A. Wilcken era natural de Dinamarca, había viajado extensamente y adquirido excepcional experiencia, tanto en el campo de la investigación como en labores editoriales, en diversas partes del mundo. Era graduado de física de las universidades de Copenhague, La Plata y Londres. Antes de establecerse en Inglaterra había viajado por toda Europa y ocupado distintos cargos en los Estados Unidos, Brasil y Argentina. Se estableció en Inglaterra en 1919, ocupándose durante algún tiempo de realizar investigaciones en el *Cavendish Laboratory* de Cambridge. En 1920 fue nombrado profesor auxiliar de matemáticas en el *Sunderland Technical College*, de donde cuatro años más tarde pasó a la Universidad de Newcastle-upon-Tyne como profesor de ingeniería eléctrica. En 1937 ingresó en la *Institution of Electrical Engineers* para dirigir la Sección B de *Science Abstracts*, publicación de la que fue nombrado único director en 1940. Ocupó dicha posición hasta 1945, fecha a partir de la cual dedicó toda su atención a la preparación de las ediciones extranjeras de *Endeavour*.

Adhesión y fricción

F. P. BOWDEN

Aunque las leyes fundamentales de la fricción son simples y se conocen desde hace ya tiempo, sólo recientemente ha sido posible descubrir algunos datos sobre los cambios locales que se producen al deslizarse un sólido sobre otro en diversas condiciones. Dichos datos son importantes no sólo para conocer mejor la física de los sólidos, sino también, desde el punto de vista práctico, para su aplicación en campos muy diversos, desde la construcción y lubrificación de cojinetes, hasta el pulimento de los diamantes y la eliminación del hielo en los planos de los aviones.

Las leyes experimentales que rigen la fricción entre dos sólidos que se deslizan uno contra otro son muy simples. Por lo general, la resistencia friccional es directamente proporcional a la carga e independiente del tamaño de las superficies en contacto. Un examen detallado del perfil de la superficie sólida ofrece una fácil explicación de dichas leyes, ya que la experiencia ha demostrado que es casi imposible, aun con los mejores métodos modernos, obtener una superficie perfectamente lisa. Un observador de estatura atómica vería una superficie pulida óptica o electrolíticamente como un paisaje ondulado, con valles y crestas de una altura de cien átomos o más. La mayoría de las superficies que hoy se obtienen presentan irregularidades mucho mayores que las de nuestro ejemplo, pudiendo alcanzar hasta mil átomos o más.

La medida de la conductividad eléctrica a través de superficies metálicas en contacto confirma que el área de contacto real es muy pequeña. Su magnitud varía con la carga, pero en el caso de superficies de acero lisas puede ser menos de una diezmilésima del área aparente. La influencia de la forma y grado de rugosidad de las superficies es muy poca, dependiendo principalmente de la carga que se aplica a éstas, a la cual es proporcional. Este comportamiento concuerda con la noción de que las superficies están separadas por pequeñas irregularidades, lo cual significa que, aun en el caso de superficies con poca carga, la presión local en esos puntos de contacto es muy alta y puede ser lo suficientemente grande para provocar el flujo plástico aun en los metales más duros. Aunque las tensiones originarán la deformación elástica del metal en las cercanías de los puntos de contacto, los experimentos indican que las cimas de las irregularidades en las que descansan los cuerpos fluyen plásticamente y se aplastan hasta que su sección sea suficiente para sostener la carga. El área de contacto real A está dada por $A = W/p_m$, donde W es la carga y p_m la presión de flujo del metal (*Vid.* Fig. 1).

Parece haber pruebas convincentes de que la fricción de los metales se debe, en gran medida, a la adhesión en esas regiones de contacto, y representa la fuerza necesaria para cizallar esas reducidas uniones [1]. Podemos, pues, expresar aproximadamente como sigue: $F = As$, donde s es la resistencia al cizallamiento de las uniones y F la fricción.

Vemos pues que esto nos ofrece una explicación simple de las dos leyes de la fricción. Primero, como A (área de contacto real) es independiente del tamaño de las superficies, la fricción también será independiente. Si la fricción es proporcional a la carga, ello significa, naturalmente, que el coeficiente de fricción $\mu = F/W$ es constante.

En ocasiones, el cizallamiento puede producirse en la interfaz, pero con mayor frecuencia (debido al endurecimiento de la región de contacto) se produce a corta distancia detrás, desprendiéndose un fragmento metálico de una de las superficies para adherirse a la otra. Esta transferencia puede

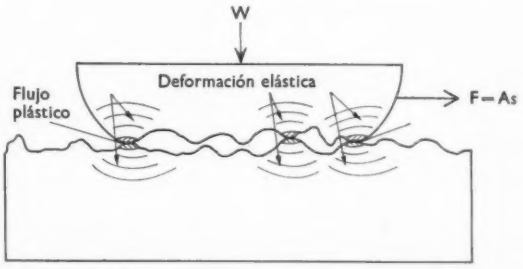


FIGURA 1 – *Dos sólidos en contacto se apoyan en sus respectivas irregularidades superficiales. Si la presión excede a la presión crítica del sólido* (p_m), *éste fluye plásticamente hasta que la región de contacto* A *tiene una área suficiente para soportar la carga* W. *La región del sólido que rodea a los puntos de contacto queda deformada elásticamente.*

producirse de un metal duro a un metal blando o viceversa.

Un método conveniente para medir cuantitativamente el metal transferido durante el deslizamiento en esas regiones localizadas de contacto es conferir radiactividad a uno de los metales y medir las cantidades transferidas por medio de un contador de Geiger o mediante autorradiografías (Fig. 11). Las superficies metálicas expuestas al aire están siempre cubiertas de una película de óxido o de gas adsorbido, que aunque sólo tenga unas moléculas de espesor puede producir un profundo efecto sobre la adhesión y la fricción. Si eliminamos dicha película calentando el metal y dejándolo enfriar en un alto vacío, se incrementa la fricción. Si entonces se intenta producir un deslizamiento, el área de contacto real aumenta y la fricción puede alcanzar un valor muy elevado.

LA ADHESION DE LOS METALES

Vemos que cuando dos metales están en contacto se produce una elevada adhesión en los puntos de unión. Debemos, por lo tanto, preguntarnos por qué no se observa una fuerte adhesión normal entre las superficies. Si esta adhesión existiese se observaría que al separar dos metales en una dirección normal la fuerza necesaria debería ser igual a la aplicada al apretarlas una contra otra, pero no es así. Hay para ello dos razones. Primero, al deslizar dos superficies hay mayores probabilidades de desgarrar las películas que las recubren, de modo que los puntos de unión formados durante el deslizamiento seran más fuertes que los que se forman al ejercer una presión normal. Segundo, la fricción es siempre medida, mientras que la carga normal es retenida. Sin embargo, para estudiar la adhesión es preciso eliminar la carga normal antes de poder realizar mediciones de la adhesión; durante dicha eliminación, las tensiones elásticas en la materia que rodea a los puntos de unión quedan aliviadas y se produce un ligero cambio en la forma del contorno interfacial (*Vid.* Fig. 1). Los puntos de unión mismos, sometidos a un elevado trabajo, se hacen quebradizos y se romperán con desplazamientos tensiles muy pequeños, lo cual significa que al eliminarse la carga normal, los puntos de unión se separan uno a uno hasta que no queda prácticamente ninguno cuando se realizan las medidas de adhesión.

Si nuestra suposición es exacta, deberíamos observar una fuerte adhesión entre metales blandos y dúctiles que no se endurecen apreciablemente en las condiciones que requiere el experimento. Con esos metales, los cambios de forma debidos a la reacción elástica serán pequeños, y los puntos de unión serán lo suficientemente dúctiles para absorber cualquier movimiento que se produzca al suprimir la carga. J. S. McFarlane y D. Tabor [2] han probado que es así. Si un metal blando como el plomo — o, mejor aún, el indio — se usa con una superficie bien limpia sobre la cual se presiona un indentor esférico duro y también limpio, se produce una marcada adhesión, que exije la aplicación de una fuerte fuerza normal para separar las superficies. Esta fuerza es tan grande como la carga original (esto es: el coeficiente de adhesión es 1), y se encuentran fragmentos del plomo o del indio adheridos a la esfera.

G. W. Rowe [3] ha estudiado recientemente la adhesión en el alto vacío de los metales más duros, tales como el platino, niquel y plata. Los experimentos muestran que aunque la fricción de esos metales desnudos es extraordinariamente alta, la adhesión normal a la temperatura ambiente es despreciable. Sin embargo, si la temperatura de los metales en contacto se eleva hasta que se puede producir el recocido y se deja luego bajar hasta la temperatura ambiente, la adhesión es muy fuerte. La Fig. 2 muestra algunos resultados típicos obtenidos con las superficies de platino. Este tratamiento térmico libera las tensiones elásticas en los puentes metálicos, resultando evidente la adhesión. La Tabla 1 indica la temperatura a la que se observa este fenómeno en una serie de metales.

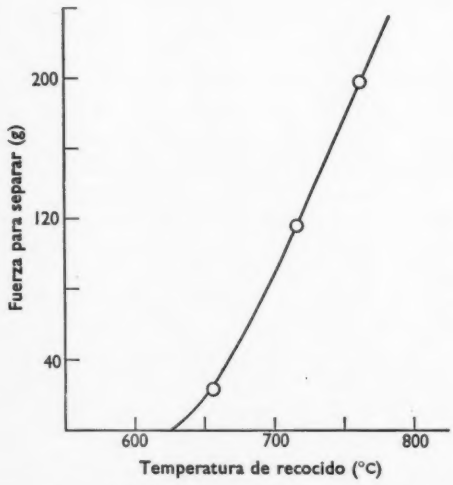


FIGURA 2 – *Comienzo de la adhesión con platino desnudo. Carga inicial, 21 g. La adhesión se observa cuando el recocido libera las tensiones elásticas.*

TABLA I

Temperatura (°C) *para la aparición de adhesión normal de metales en un alto vacío*

Platino	620	Plata	200
Níquel	500	Plomo	*ca* 30
Oro	250	Indio	< 30

LA FRICCION DE LOS PLASTICOS

Se ha estudiado el comportamiento friccional de los materiales poliméricos. La fricción de algunos termoplásticos que se deslizan sobre sí mismos aparece en la Tabla II.

Puede verse que todos esos materiales tienen coeficientes de fricción del mismo orden que los metales, a excepción del P.T.F.E., cuyo μ es fenomenalmente bajo. Si estudiamos las marcas que quedan sobre la superficie después del deslizamiento, hallaremos que existe una marcada adhesión, desgarramiento y transferencia de plástico de una superficie a otra (Figs. 12(*a*) y 12(*b*)). Cuando los plásticos se deslizan sobre metales no sólo se observa transferencia de plástico a metal sino también una transferencia — diminuta pero finita — del metal al plástico (Fig. 12(*c*)). Es por lo tanto posible que un plástico blando cause desgaste de un metal mucho más duro.

Puede también demostrarse que la fricción depende del área de contacto real A y de la fuerza de cizallamiento en los puntos de unión, pudiendo expresarse $F = As$. La comparación con la fuerza de cizallamiento en los plásticos muestra que s es aproximadamente igual a la resistencia al cizallamiento del plástico mismo, y que el mecanismo de la fricción es en esencia igual al de los metales.

Una diferencia entre el comportamiento friccional de esos materiales y de los metales es el efecto de la carga. En el caso de los metales, la deformación en las regiones de contacto es realmente plástica, por cuya razón el área de contacto real es directamente proporcional a la carga. Con los polímeros de cadena larga no es así. Estas substancias son visco-elásticas y su deformación depende de la geometría de las superficies, de la carga W, y de la duración de aplicación de la misma. En general, el área de contacto A responde a una relación del tipo $A \propto W^n$, donde n es menor a 1. En consecuencia, el coeficiente de fricción está en razón inversa a la carga. Este efecto puede ser muy marcado con cargas bajas, y es especialmente evidente en las fibras poliméricas.

En fecha reciente, M. W. Pascoe y D. Tabor [4] han medido la fricción y deformación de polímeros y de fibras de los mismos sometidos a una gran gama de cargas: la Fig. 3 muestra un diagrama esquemático del aparato empleado para la medida de la fricción de las fibras en el vacío. La fibra inferior está tensada y sujeta en ambos extremos por un carro que se desliza en la dirección del eje de la fibra, movido por un lento motor sincrónico. La fibra superior, que actúa como un contrapeso, puede descansar sobre la superficie inferior con una carga determinada por un tornillo micrométrico. Con fibras finas se pueden conseguir cargas normales del orden de 10^{-6} g.

La influencia de la carga es muy marcada; por ejemplo, el coeficiente de fricción de un filamento de nilón (diámetro 0,042 mm) con una carga de 10^3 g es *ca* 0,4; con una carga de 10^{-3} g alcanza un valor de 1,2. Los cálculos de Tabor muestran que se sigue la variación del área de contacto real y se refleja la fuerza necesaria para cizallar el

TABLA II

Polímero	*Nombre ordinario*	*Fórmula química*	*Coeficiente de fricción* μ
Cloruro polivinílico ..	P.V.C.	$(—CH_2—CHCl—)_n$	0,4–0,5
Polistireno	Polistireno	$(C_8H_8)_n$	0,4–0,5
Polimetil metacrilato	Perspex	$\left(CH_3—\underset{\underset{CH_2}{\|}}{C}—COOCH_3\right)_n$	0,4–0,5
Nilón		$(CO—(CH_2)_4—CO—NH—(CH_2)_6—NH—)_n$	0,3
Polietileno	Politeno	$(—CH_2—CH_2—)_n$	0,6–0,8
Politetrafluoroetileno	P.T.F.E. (Fluón, Teflón)	$(—CF_2—CF_2—)_n$	0,05–0,1

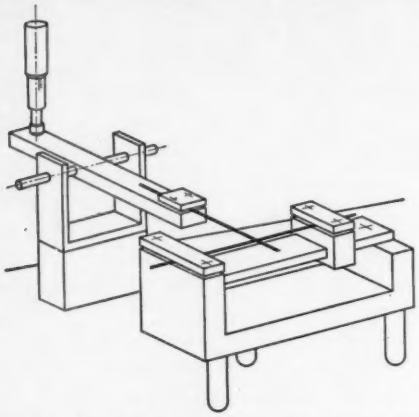


FIGURA 3 – *Balancín para determinar la fricción entre fibras en el vacío.*

plástico en dicho área. Las fibras están, por lo general, recubiertas de pequeñas irregularidades, de modo que el área de contacto real puede ser mucho menor que el área de deformación. Sin embargo, parece que con cargas ligeras el contacto se produce sólo sobre muy pocas asperezas, posiblemente sólo sobre una. Por ejemplo, con la fibra de nilón de 0,042 mm la mayor carga aplicada — *ca* 0,1 g — produce un círculo de contacto de un diámetro de *ca* 0,004 mm, mientras que el diámetro de las asperezas individuales es del orden de 0,002 mm. Con esas cargas tan pequeñas no es posible mostrar la región de contacto, pero las micrografías electrónicas de reflexión de una fibra similar con cargas mucho mayores (Fig. 16) ilustran este fenómeno. En esa micrografía se hizo resbalar un deslizador metálico plano sobre la fibra con una carga de 40 g; la anchura de la huella es casi de 0,02 mm, esto es, unas cinco veces más ancha que el más ancho trazo obtenido en los experimentos de cruce de fibras. Esto apoya la noción de que en los experimentos con fibras cruzadas, en los que las cargas son muy ligeras, el contacto puede considerarse como un verdadero punto. Por tal razón, el área de contacto real es casi igual al área de deformación, y la fricción sigue la misma ley que el área de deformación misma. A base de esta simple noción física se puede obtener una correlación friccional suficientemente buena para una gama de cargas de 10^{10} a 1 y para superficies que difieran en su radio de curvatura por un factor de más de 300 a 1. Con la mayoría de los plásticos, la adhesión es marcada; el cizallamiento se produce a poca distancia de la interfaz, observándose por tanto transferencia y desgaste; con el P.T.F.E. la adhesión es pequeña, el deslizamiento se puede producir en la interfaz, y la fricción es baja. Esto parece ser una propiedad intrínseca del material, ya que éste conserva su bajo coeficiente de fricción aún en un alto vacío, cuando queda eliminada la mayor parte de las películas superficiales. Si la superficie se somete a un roce prolongado a alta velocidad, el calor friccional puede deteriorarla, aumentando así el coeficiente de fricción.

SOLIDOS ELASTICOS. EL DIAMANTE

El comportamiento friccional del diamante tiene interés especial debido a su gran dureza y elevadas constantes de elasticidad. Se observa que la deformación del diamante es elástica bajo cargas normales y que las condiciones en la región de contacto durante el deslizamiento de diamante sobre diamante son las características de la deformación elástica. Esto significa que el área de contacto real no es proporcional a la carga W sino a $W^{2/3}$. El coeficiente de fricción, por lo tanto, no puede ser constante, sino que debe disminuir con la carga, siendo proporcional a $W^{-1/3}$. La Fig. 4, curva 1, da el valor experimental para las superficies diamantinas limpias expuestas al aire: se cumple aquí la relación

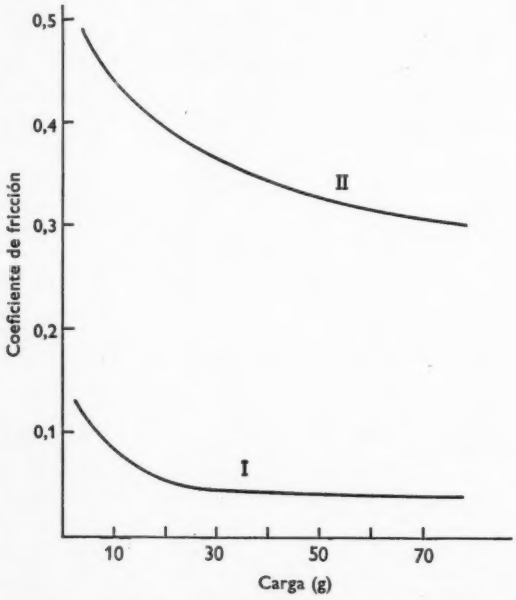


FIGURA 4 – *La fricción en el diamante como una función de la carga. Curva* I: *El coeficiente de fricción* μ *aumenta al reducirse la carga y sigue aproximadamente una ley del tipo* $\mu = kW^{-1/3}$ *relacionada con la deformación elástica. Curva* II: *En el vacío, una vez eliminadas las películas superficiales, la fricción se eleva a un valor muy alto.*

teórica. Se observará también que la fricción es pequeña y que para una carga de 70 g, $\mu \simeq 0{,}05$.

La Fig. 4 muestra además otro efecto. Si la película adsorbida de oxígeno y otros gases normalmente presente en la superficie se elimina por calentamiento del diamante seguido de su enfriamiento en el vacío, la fricción aumenta marcadamente (curva II). Este efecto de la eliminación de las películas de gas es similar al observado en los metales. Con éstos, sin embargo, se produce el gripado, lo cual no sucede con el diamante porque no es dúctil y no se produce el crecimiento de los puntos de unión. Un cálculo del área de contacto real, presumiendo la existencia de deformación elástica y utilizando la ecuación de Hertz, muestra que al deslizarse dos superficies diamantinas limpias en el vacío, la resistencia al cizallamiento efectiva en la región de contacto es elevada y comparable a la resistencia bruta del diamante.

Existe otra característica interesante de este tipo de fricción. El coeficiente de fricción varía con la orientación cristalográfica de la dirección del deslizamiento. Este efecto ha sido estudiado por D. M. Kenyon y más recientemente por M. Seal [11]; algunos resultados de éste aparecen en la Fig. 5. Aquí, el coeficiente de fricción entre un resbalador de diamante y la cara pulimentada de un cubo de diamante (100) aparece trazada contra la dirección de deslizamiento en la cara. Parece existir una simetría cuádruple en las variaciones friccionales. Los máximos ocurren en las direcciones de los ejes cristalográficos. Esas variaciones direccionales friccionales sirven para aclararnos el proceso de la abrasión de los diamantes. El diamante se pule por lo general contra una muela giratoria cargada con polvo de diamante.

FIGURA 5 – *En el diamante, la fricción depende considerablemente de la dirección cristalográfica del deslizamiento. En una faz cúbica presenta una simetría cuádruple. El pulido se realiza más fácilmente en las direcciones de elevada fricción.*

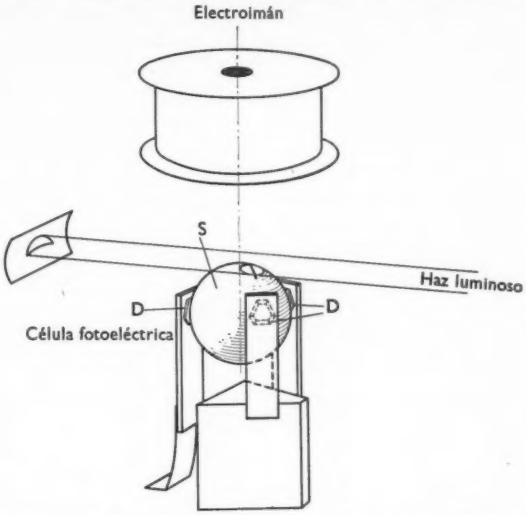


FIGURA 6 – *Método para estudiar la fricción y pulimento del diamante a muy altas velocidades. La esfera de acero* S *está suspendida magnéticamente. Al girar, la fricción se mide por su deceleración al frotar contra las tres superficies de diamante. Con este aparato pueden obtenerse velocidades de más de* 3000 *km/h.*

Desde hace mucho se sabe que existe una marcada anisotropía en la resistencia a la abrasión cuando el diamante se pule de este modo, y que la dirección favorable y desfavorable varían en un factor de 1000 o más. Hoy se ha establecido una correlación entre este desgaste abrasivo y el coeficiente de fricción. Las direcciones que resisten a la abrasión tienen un coeficiente bajo, y las que son más fácilmente abradidas o pulimentadas tienen un alto coeficiente.

Aunque esta observación no nos permite elegir entre los varios mecanismos posibles de abrasión, sin embargo concuerda con otra concepción de la que existen otras pruebas. Según ésta, el «castigo» del diamante puede deberse en parte a la combustión o grafitización de ciertos puntos locales (*hot-spots*). Teóricamente, la temperatura de estos *hot-spots* es directamente proporcional al coeficiente de fricción. Las direcciones de alta fricción tienen, por tanto, *hot-spots* muy calientes y el coeficiente de abrasión es muy elevado. Es muy difícil abradir una faz octaédrica (111) en el diamante y esta faz muestra una baja fricción en todas direcciones ($\mu \simeq 0{,}05$).

FRICCION Y PULIDO DEL DIAMANTE A MUY ALTAS VELOCIDADES

E. H. Freitag está estudiando la fricción y desgaste de los metales a velocidades muy elevadas

de deslizamiento, y ha extendido recientemente sus experimentos a las superficies diamantinas. El método experimental, que se basa en una elegante técnica desarrollada por J. W. Beams [5] para su ultracentrífuga, aparece ilustrado en la Fig. 6. Una esfera de acero está suspendida por un electroimán e iluminada de modo que su sombra caiga sobre una célula fotoeléctrica. Si la esfera se hunde, la corriente en el imán aumenta; si se eleva, disminuye de modo que la esfera «flote». La esfera, que está rodeada de una envoltura de vidrio en vacío, se hace girar por medio de un campo magnético rotatorio. Cuando ha alcanzado una velocidad adecuada se hace que froten contra ella tres superficies planas de diamante. La deceleración de la esfera — y por lo tanto la fricción — está medida por un fotomultiplicador que registra una marca en lo alto de aquélla. Con este aparato es posible obtener velocidades de frotamiento superiores a 1000 m/s. La Fig. 7, curva I muestra algunos resultados típicos del frotamiento del diamante sobre una esfera de acero. Al aumentar la velocidad, disminuye el coeficiente de fricción, y a una velocidad de unos 200 m/s, $\mu = 0{,}02$. Sin embargo, si la velocidad aumenta más, se produce un repentino aumento de la fricción, y a la velocidad de 250 m/s, la fricción sube a 0,2. El examen de las superficies diamantinas nos ofrece una explicación. La Fig. 13 (izquierda) muestra la superficie diamantina cuando la velocidad de frote excede de 250 m/s (se trata de la superficie de un diamante natural y pueden observarse los trigonios característicos): no ha sufrido daño y sólo se observan trazas del metal sobre la superficie. Dicho comportamiento concuerda con observaciones anteriores de que a esas grandes velocidades, la elevada temperatura causa el reblandecimiento y fusión del metal en una escala considerable.

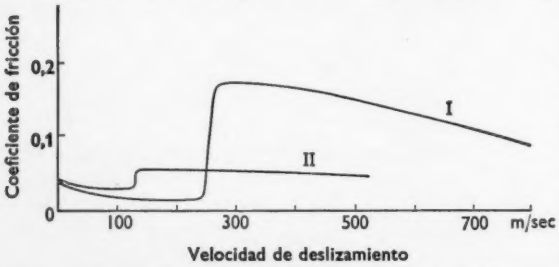


FIGURA 7 – *Curva* I: *Fricción a alta velocidad del acero sobre el diamante. Al principio, la fricción disminuye, pero cuando la velocidad alcanza* 250 *m/s se produce una rápida elevación de la fricción, la cual está relacionada con el reblandecimiento y fusión a alta temperatura de la bola de acero y la deposición del metal sobre la superficie del diamante* (Vid. *Fig.* 13 (*izquierda*)). *A velocidades inmediatamente inferiores el diamante se pule fácilmente* (Vid. *Fig.* 13 (*derecha*)); *a velocidades más bajas aún, no hay pulimento. Curva* II: *Resultados análogos en el cobre. La transición se produce a una temperatura más baja debido al inferior punto de fusión del cobre.*

La Fig. 13 (derecha) muestra el cambio que se produce en la superficie diamantina a velocidades de frote inmediatamente inferiores a 250 m/s. Se trata aquí de la dura cara octaédrica de un diamante difícil de pulir con los métodos corrientes; sin embargo, la esfera de metal que sólo ha estado en contacto con la superficie durante unos segundos ha producido en ella un cráter. Esta observación tiene interés, ya que muestra que si la velocidad de frote es suficientemente elevada, unos 250 m/s, es posible pulir un diamante sin usar polvo de diamante, sino simplemente frotando un metal contra él. Si la velocidad de frote es demasiado grande, se producirá un marcado reblandecimiento en la superficie metálica, la fricción será elevada y se depositará el metal sobre la superficie diamantina sin producirse el pulimento. Si la esfera de acero se recubre de cobre se observa un efecto semejante y una transición similar en la fricción (Fig. 7, curva II), la cual ocurre, como era de esperar, a una velocidad menor, ya que el punto de fusión del cobre es más bajo que el del acero. Las velocidades de frote que producen el pulimento del diamante son, naturalmente, mucho mayores que las utilizadas en los procedimientos corrientes de pulimento con un disco impregnado de polvo diamantino. El pulido de la superficie que se obtiene frotando un diamante a gran velocidad con acero es bueno. Estas observaciones muestran que si la velocidad es suficiente, los sólidos duros pueden ser abradidos y pulidos por otros más blandos.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA FRICCION DEL GRAFITO

Desde hace tiempo se sabe que el coeficiente de fricción del grafito es bajo ($\mu \simeq 0{,}15$), lo cual se ha atribuido a su estructura laminar, que facilita el cizallamiento. Las investigaciones realizadas tanto en Norteamérica [6] como en Gran Bretaña [7] han demostrado que tal tesis descansa en una super-simplificación. Si del grafito se elimina toda substancia gaseosa por medio de calentamiento en el vacío, el coeficiente de fricción aumenta considerablemente ($\mu = 0{,}5$) y se observa un gran aumento en el desgaste. Pequeñas cantidades de oxígeno o de vapor de agua pueden reducir dicho coeficiente en el grafito desgasificado hasta devolverle el valor normal en la atmósfera. Parece, por

tanto, que el bajo coeficiente de fricción se debe, por lo menos en parte, a la acción de contaminantes. Recientemente, Kenyon ha medido la fricción del grafito deslizándose sobre sí mismo y sobre metales a altas temperaturas y en el vacío. En el primer caso, la fricción a la temperatura ambiente es alta ($\mu = 0{,}6$), pero baja al elevarse la temperatura, y a 2000°C ha descendido a $\mu = 0{,}2$. Esto puede deberse al debilitamiento a altas temperaturas de las fuerzas de enlace entre las láminas. Cuando el grafito se desliza sobre el cobre, plata u oro se obtienen idénticos resultados, disminuyendo el coeficiente de fricción, hasta que se alcanza el punto de fusión del metal. Sin embargo, con otros metales (hierro, níquel, torio, titanio, molibdeno, tantalio y tungsteno) el comportamiento es muy distinto: se observa la disminución inicial, pero a temperaturas en la región de los 1000°C, la fricción comienza a aumentar y puede alcanzar valores muy elevados ($\mu > 2$). Los metales que producen este gran incremento de la fricción son los que pueden formar carburos o soluciones sólidas con el grafito. Cuando se produce esta interacción, aumenta el área de contacto A, y la capa superficial, que puede ser un carburo metálico, tendrá una gran resistencia al cizallamiento, de manera que la fricción puede ser muy elevada. El cobre, la plata y el oro no reaccionan de esta manera, sino que continúan produciendo un bajo coeficiente de fricción aun cuando su temperatura se ha elevado a muy pocos grados por debajo de su punto de fusión.

LA FRICCION DE LA MADERA

D. Atack ha llevado a cabo un interesante estudio del comportamiento friccional de un sólido mucho mas complejo: la madera. Los resultados preliminares parecen indicar que la resistencia friccional al deslizamiento a baja velocidad de los metales sobre la madera es una combinación simple de dos factores: deformación y adhesión. Lo cual es sorprendente cuando se considera que la madera es una compleja substancia biológica, con una estructura porosa de gel y con una gran heterogeneidad física y química.

Un estudio detallado del rodaje y deslizamiento de esferas de acero y de P.T.F.E. sobre dos especies de madera similares de anatomía relativamente simple, *Picea glauca* y *Abies balsamea*, ha demostrado la relación del coeficiente de fricción con el contenido de humedad en la madera. Se eligieron unas muestras de madera limpia, las cuales se lijaron sumergidas en agua con papel de grado 600 a lo largo de una superficie aproximadamente paralela a los anillos anuales (tangentemente a la superficie).

La Fig. 8 presenta resultados típicos obtenidos con maderas con un 30% de humedad. Se verá que la fricción al deslizamiento depende del diámetro de la esfera y de la carga. Tabor [8] ha demostrado recientemente que la fricción al rodaje sobre goma o sobre metal se debe a una pérdida de histéresis elástica dentro del sólido. La resistencia al rodaje sobre madera, que se muestra indirectamente en la Fig. 8, se ha analizado de manera semejante, y los resultados muestran que también se debe casi enteramente a la misma causa. Los lubrificantes apenas producen efecto sobre el coeficiente de fricción, indicando que el deslizamiento o adhesión interfacial no contribuyen a la resistencia al rodaje. Por lo tanto parece razonable suponer que

$$\mu_{\text{de deslizamiento}} = \mu_{\text{de rodaje}} + \mu_{\text{de adhesión}}.$$

El valor del $\mu_{\text{de adhesión}}$ calculado de esta manera es independiente tanto del diámetro de la esfera como de la carga, y puede interpretarse de manera semejante a la del deslizamiento de metales. Una característica notable es que las curvas de la Fig. 8 representan el comportamiento de ambas maderas citadas, en condiciones de equilibrio en el deslizamiento y en el rodaje. Las indicaciones de estudios similares sobre el papel

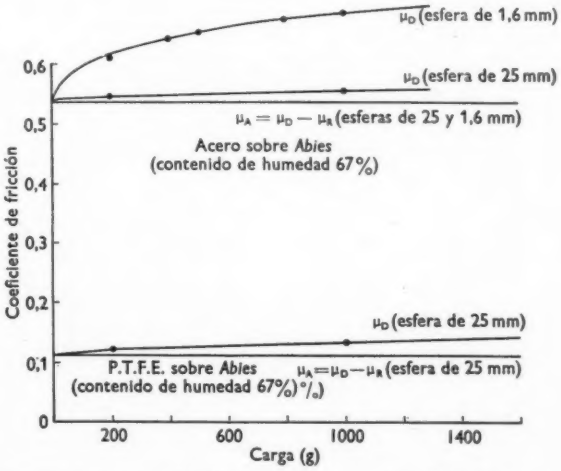


FIGURA 8 – *La fricción durante el deslizamiento sobre madera, μ_D, puede resolverse en dos componentes: la fricción debida a la pérdida de histéresis elástica al deformarse la madera, μ_R (que es igual a la fricción por rodaje), y la fricción debida a la adhesión entre las superficies, μ_A. Esta sigue las mismas leyes que la fricción de los metales y se debe probablemente a los enlaces hidrogénicos entre las superficies.*

indican que tanto en el caso de la madera como del papel, la adhesión se debe al enlace hidrogénico entre los grupos oxhidrílicos no ligados de la celulosa y la capa de óxido en la superficie del acero. Esto explicaría el bajo valor del factor adhesión en el caso del P.T.F.E., en el que no se produce tal enlace. La fricción al rodaje de una esfera de P.T.F.E. sobre madera es casi igual a la de una esfera de acero del mismo tamaño en condiciones idénticas. Cuando el contenido de humedad de la madera es menor del 30% se produce una creciente deformación plástica durante el rodaje y deslizamiento, deformación que puede calcularse aproximadamente en términos de las propiedades brutas de la madera.

ADHESION Y FRICCION DEL HIELO Y DE LA NIEVE

La adhesión del hielo a los aviones y a los barcos que navegan por mares helados representa un grave problema. L. E. Raraty ha estudiado algunos de los factores que influyen sobre dicha adhesión, y sus experimentos muestran que si las superficies metálicas están realmente libres de toda película contaminadora de grasa, la adhesión del hielo al metal es mayor que la resistencia del hielo y que por lo tanto la rotura debe producirse en éste. Por tal razón, el comportamiento del mismo depende de sus propiedades mecánicas.

La fractura del hielo tiene cierta semejanza con la de los metales en que bajo diferentes circunstancias se puede producir una fractura ya bronca ya dúctil. En las condiciones en que Raraty realizó sus experimentos parece que en la gama de temperaturas de 0 a −6°c la fractura es dúctil y está influída por la velocidad de deformación plástica, dependiendo mucho de la temperatura. Por debajo de −6°c, la fractura es bronca y la resistencia no depende ya de la temperatura. Una pequeña cantidad de contaminante, tal como un ácido graso, sobre la superficie reduce la adhesión a un valor bastante bajo y la fractura se produce en la capa del contaminante. Si esta capa es incompleta, la adhesión está determinada principalmente por el área del metal sin contaminante. Una pequeña cantidad de detergente disuelto en el agua reduce apreciablemente la fuerza de adhesión aparente.

Raraty ha estudiado también la adhesión del hielo a sólidos no metálicos, particularmente a los plásticos. El comportamiento general es análogo al que se obtiene con las superficies metálicas, y en algunos plásticos la adhesión superficial es más fuerte que la cohesión misma del hielo. Esto no es así en todos los materiales, y en particular la adhesión del politetrafluoroetileno a la superficie es muy pequeña y la fractura se produce al parecer en la interfaz misma.

Aunque el hielo puede adherirse fuertemente a determinadas superficies, el coeficiente de fricción durante el deslizamiento sobre la nieve y el hielo es muy bajo ($\mu \simeq 0{,}03$). Osborne Reybolds [9] ha indicado que esto puede deberse a una película acuosa formada por la fusión bajo presión. Sin embargo, nuestros experimentos [10] han mostrado que esto sólo puede tener significado a temperaturas muy próximas a cero y con superficies en movimiento lento. Si la velocidad de deslizamiento es apreciable y la temperatura por debajo de cero, la fusión superficial local no se produce por presión sino por el calor friccional de las superficies deslizantes. La Tabla III ilustra el gran descenso en fricción que se produce cuando la velocidad de deslizamiento llega a unos metros por segundo. Estos resultados fueron obtenidos con eskís tratados diversamente y parecen probar que al eskiar son el calentamiento y la fusión friccionales los factores más importantes causantes del bajo coeficiente de fricción.

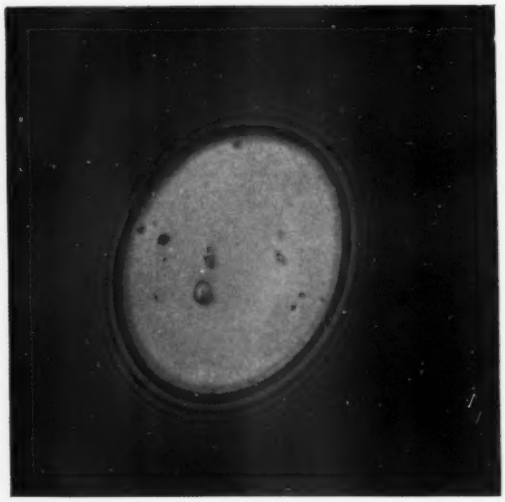
TABLA III

Influencia de la velocidad sobre la fricción en hielo a −10°C

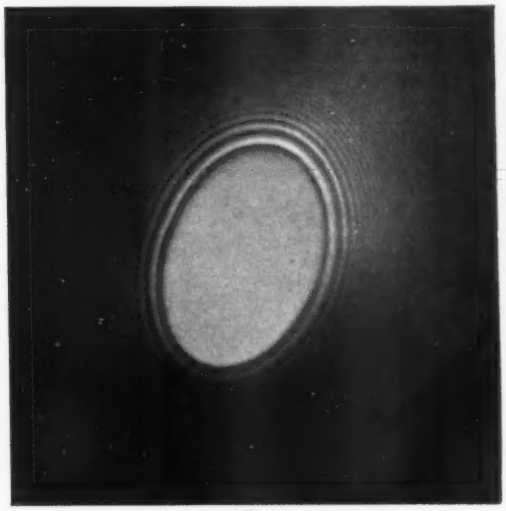
Superficie del eskí	*Coeficiente de fricción* (μ)		
	Estático	*A* 3 *cm/s*	*A* 5 *m/s*
Madera encerada	0,20	0,18	*ca* 0,02
Madera laqueada	0,40	0,36	*ca* 0,03
Perspex	0,35	0,32	*ca* 0,03
Aluminio ..	0,38	0,34	*ca* 0,04

Durante los últimos años nuestras investigaciones sobre el mecanismo del eskiaje nos han producido momentos de gran placer en los Alpes, donde hemos estudiado el comportamiento de una variedad de sólidos, incluyendo algunos materiales plásticos nuevos, al resbalar sobre el hielo y la nieve [10]. La nieve muy fría se comporta como los demás sólidos cristalinos, pareciendo comprobarse que la baja fricción se debe a una fusión superficial localizada producida por el calentamiento friccional del eskí. Parece que el comportamiento friccional está influído por el ángulo de contacto que la película acuosa presenta con la superficie. El P.T.F.E. tiene interesantes posibilidades, debido en parte a su bajo coeficiente de

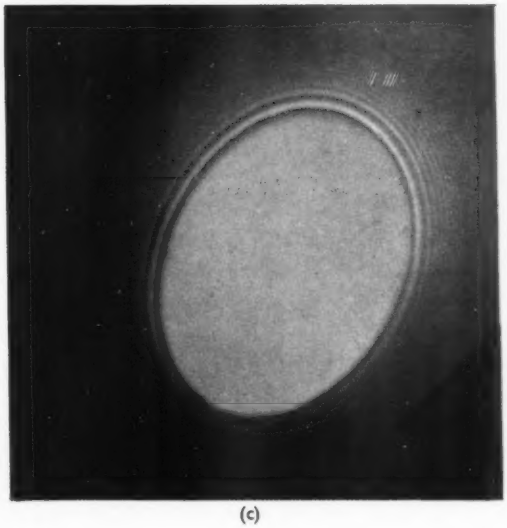
FIGURA 9 – *Interferencia de haz múltiple de una lámina exfoliada de mica. Las regiones de color uniforme son molecularmente lisas; los límites representan un cambio brusco de espesor.* (× 15)



(a)



(b)



(c)

FIGURA 10 – (a) *Región de contacto entre superficies de mica molecularmente lisas. El contacto es imperfecto debido a pequeñas partículas de contaminación. Sólo puede observarse una separación de muy pocos ångströms.* (b) *El mismo caso, pero aquí las superficies están en contacto molecular sobre toda la región de color uniforme. Las franjas de color en los bordes se forman donde se separan las láminas.* (c) *Como* (b) *pero con un área de contacto más extensa debido a haberse aumentado la carga.* (× 15)

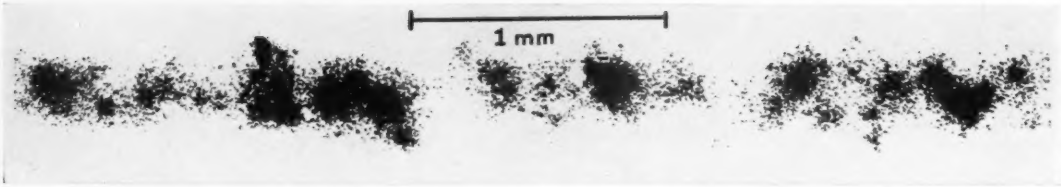
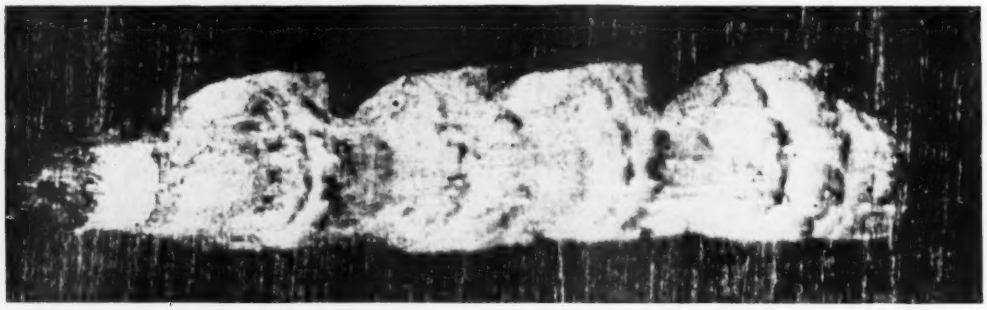
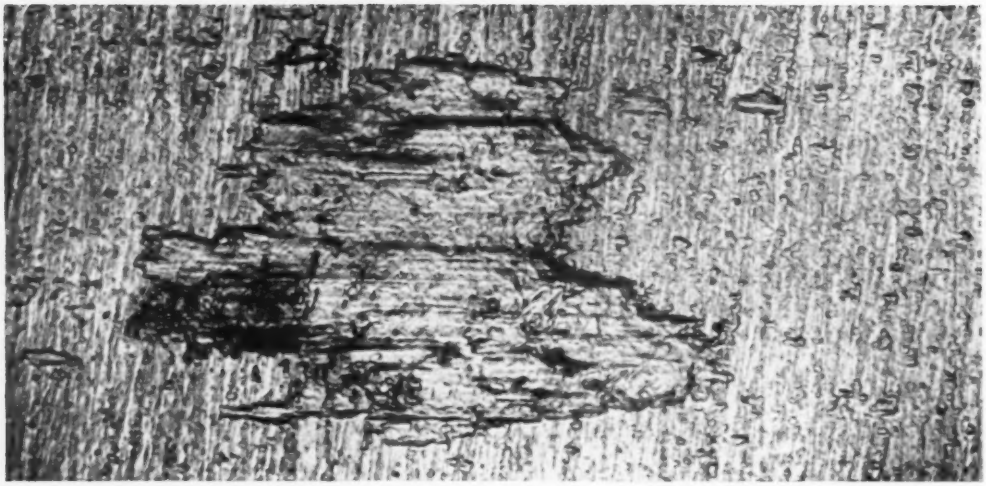


FIGURA 11 – *Autorradiografía del cobre transferido a una superficie de acero limpia durante un deslizamiento a una velocidad de 0,01 cm/s bajo una carga de 2 kg. El cobre recogido consiste de pequeños fragmentos y corresponde a unos* 10^{-6} *g/cm de trazo.*

(a)



(b)



(c)

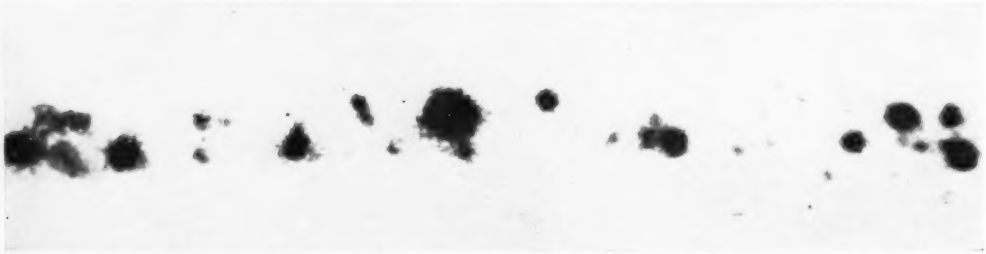
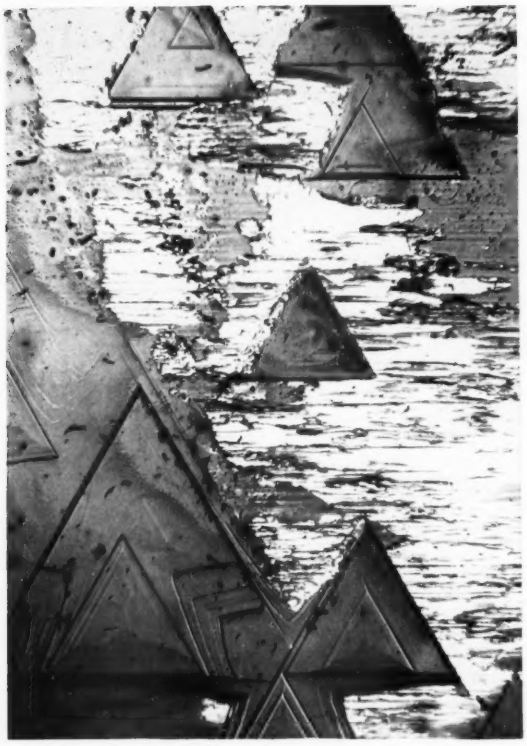


FIGURA 12 – (a) *Trazo formado al deslizar dos superficies de cloruro polivinílico. Se produce una soldadura mutua.* (× 60) (b) *Trazo formado al deslizar cloruro polivinílico sobre acero. El plástico se suelda al metal.* (× 400) (c) *Trazo formado al deslizar plata radiactiva sobre cloruro polivinílico. Algunas partículas del metal* (ca 3 × 10^{-8} *g/cm de trazo*) *quedan transferidas al plástico.* (× 20)



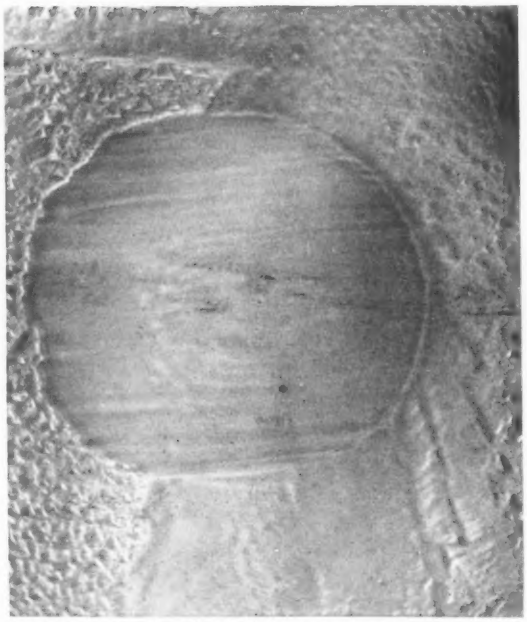


FIGURA 13 – (*izquierda*) *Diamante frotado a velocidades mayores a 250 m/s. La superficie no recibe daño, pero se depositan partículas de acero sobre ella. Los trigonios son característicos de las superficies diamantinas naturales.* (*derecha*) *Diamante frotado con acero a una velocidad inmediatamente inferior a 250 m/s. La superficie se pule fácilmente.*

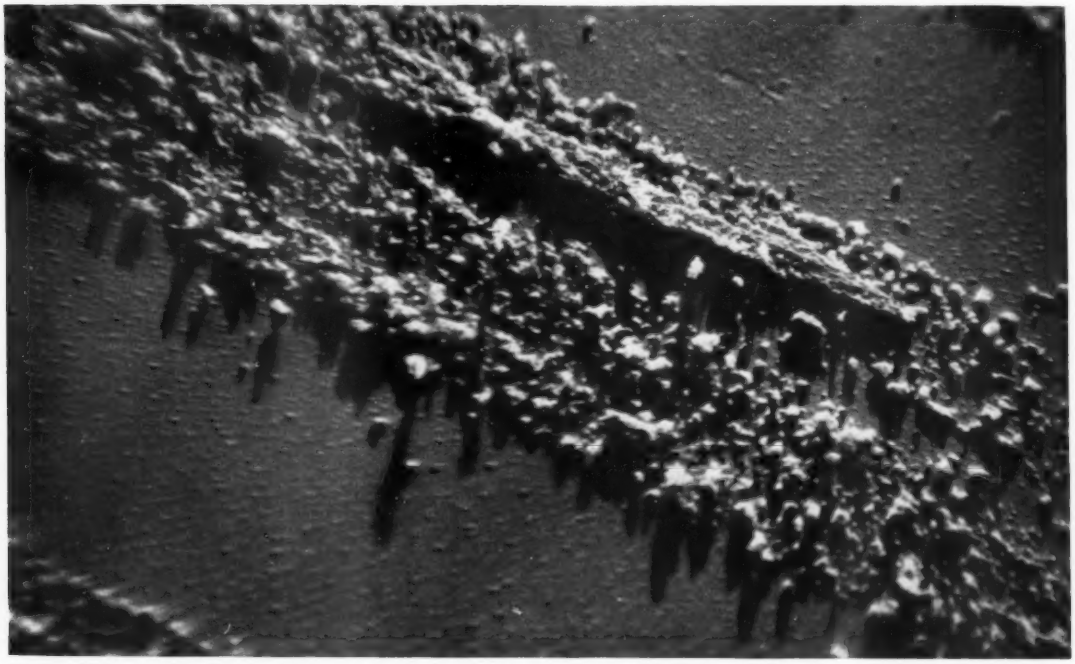


FIGURA 14 – *Micrografía electrónica de reflexión del deterioro causado en las superficies de mica molecularmente lisas cuando se deslizan una sobre otra.*

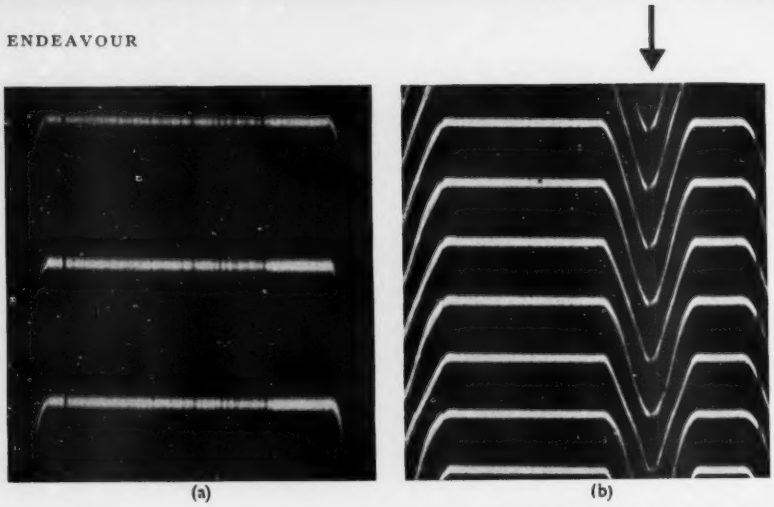


FIGURA 15 – *Franjas de igual orden cromático empleadas para el examen del área de contacto de las superficies de mica.* (a) *Cuando las superficies están en contacto molecular, las franjas son planas y de longitud de onda constante.* (b) *La presencia de una pequeña irregularidad se revela mediante la desviación de las franjas (flecha).*

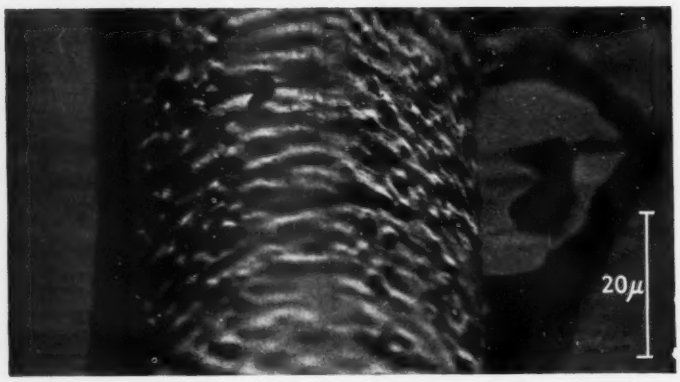


FIGURA 16 – *Micrografía electrónica de reflexión de una fibra de nilón (diámetro 50 μ). La curvatura de las asperezas está acentuada por el ángulo de incidencia del haz de electrones. Puede observarse el deterioro de la superficie debido al roce durante el deslizamiento.*

fricción y en parte a su alto ángulo de contacto, a consecuencia del cual no lo moja el agua. También es de suponer que sería difícil el enlace hidrogénico del agua o del hielo con la superficie. Los experimentos han mostrado que, en efecto, esta sustancia presenta un bajo coeficiente de fricción al resbalar sobre la nieve o el hielo en una gran variedad de condiciones. La fricción estática a diversas temperaturas de eskís cubiertos de una cera corriente, de una cera de carreras y de P.T.F.E. aparece ilustrada en la Fig. 17, en la que puede verse que los coeficientes de todas esas superficies descienden al subir la temperatura de la nieve y que el P.T.F.E. presenta el coeficiente más bajo. También se realizaron bajadas cronometradas con esquiadores y con pesos muertos sobre los eskís cuyos resultados aparecen en la Tabla IV.

Bajo todas las condiciones en que se realizaron nuestros experimentos, los eskís de P.T.F.E. fueron bastante más rápidos. Es fácil patinar con ellos ya que la fricción es baja y uniforme aún cuando se esquía sobre nieve desigual. Este material promete tener buena aplicación no sólo para eskís, sino también para los trineos y los trenes de aterrizaje de aviones sobre nieve muy fría o muy mojada.

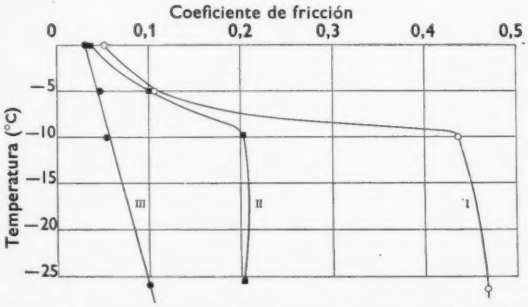


FIGURA 17 – *Influencia de la temperatura de la nieve sobre la fricción estática de los eskís. Curva* I: *Laca de eski. Curva* II: *Cera de eski. Curva* III: *P.T.F.E. La fricción es alta a bajas temperaturas y desciende al aproximarse la temperatura a cero. El P.T.F.E. da una baja fricción a todas temperaturas.*

FRICCION Y ADHESION DE SUPERFICIES PLANAS MOLECULARMENTE

Las leyes normales de la fricción se deben a que las superficies no son nunca perfectamente lisas y el contacto entre ellas se produce sólo en determinadas áreas. Si fuera posible poner en contacto dos superficies molecularmente planas, su comportamiento sería totalmente distinto. Recientemente, A. I. Bailey y J. S. Courtney-Pratt han realizado experimentos de este tipo [12]. Si la mica muscovita de buena calidad se exfolía con gran cuidado, la división se produce a menudo a lo largo de un único plano del cristal, de manera que es posible obtener láminas molecularmente lisas en ambos lados. La gran dificultad de estos experimentos estriba en asegurarse de la perfecta lisitud de las superficies y de que el contacto entre ellas sea verdaderamente molecular. Una diminuta partícula de polvo o una diferencia de un escalón en el exfoliado, que pueden tener sólo una altura de 10Å, viciarán el experimento. S. Tolansky [13] ha demostrado que la interferometría de haz múltiple es un método eficaz y elegante para descubrir irregularidades superficiales de sólo 3 ó 4Å de altura. La Fig. 9 muestra una lámina exfoliada de mica bajo examen con dicho método. Los diferentes colores corresponden al distinto espesor de la lámina, siendo molecularmente planas las regiones de color uniforme. En los experimentos de Bailey y Courtney-Pratt se curvan láminas molecularmente lisas hasta formar cilindros y se montan en ángulo recto. La lámina inferior se fija a la platina de un microscopio y la superior se sujeta por medio de cuatro resortes iguales. Sobre la superficie superior de la lámina de arriba se deposita una capa de plata con un gran coeficiente de reflexión, igual que en la superficie inferior de la lámina de abajo, de modo que se produzcan reflexiones múltiples en ambas láminas. El aparato esta construído de tal manera que se pueden aplicar y medir fuerzas normales y tangenciales.

La región de contacto es aproximadamente circular y cuando las superficies se encuentran dentro de una distancia molecular, el color de esta región es uniforme. En la Fig. 10(*a*) existen algunas irregularidades diminutas, lo que indica que las superficies no se hallan en verdadero contacto. Las irregularidades o partículas de este tipo, que causan una separación de muy pocos ångströms pueden descubrirse facilmente. En la Fig. 10(*b*) el contacto es molecular en toda la región. Si se aumenta la carga sobre las láminas de mica, el área de contacto se extiende, lo cual aparece ilustrado en la Fig. 10(*c*).

La región de contacto puede examinarse también usando franjas de igual orden cromático. Este método, que aparece ilustrado en la Fig. 15 tiene la ventaja de que puede medirse convenientemente la altura absoluta de cualquier irregularidad. Cuando las superficies se encuentran en contacto molecular, las franjas son cada una de una longitud de onda constante y se presentan rectas (Fig. 15(*a*)). La presencia de una pequeña irregularidad produce la desviación de las franjas señalada por la flecha en la Fig. 15(*b*).

TABLA IV

Bajadas cronometradas: comparación de un eskí encerado con un eskí de P.T.F.E.

Serie I. Nieve primaveral cristalina; temperatura del aire 5°C; temperatura de la nieve cero; colina suave de longitud de 213 metros (sobre huellas)

Peso sobre eskí (kg)	*Tiempo de descenso (segundos)*	
	Eskí ordinario con parafina y cera noruega	*Eskí de P.T.F.E.*
76	61	42
64	83	54

Serie II. Nieve nueva caída horas antes; temperatura del aire 10°C; temperatura de la nieve cero; eskí sin carga (con huellas)

Características de la bajada	*Tiempo de descenso (segundos)*	
	Eskí ordinario con laca para eskís	*Eskí de P.T.F.E.*
Suave, 20 metros ..	10	6
Empinada, 30 metros	6	3

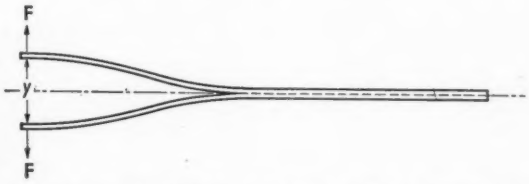


FIGURA 18 – *Método para medir el trabajo necesario para separar superficies de mica molecularmente lisas. La fuerza* F *aplicada a los extremos causa la apertura de la mica, la cual se determina registrando el movimiento de la línea de bifurcación y la separación.*

La adhesión se ha estudiado midiendo la fuerza necesaria para separar esas superficies en una dirección normal; en un experimento ligeramente diferente, el trabajo de separación se mide durante el proceso de exfoliación de la mica (Fig. 18). Como se indica, las fuerzas F se aplican a los extremos de una pieza de mica, causando la exfoliación de ésta. Los extremos se mantienen horizontales para la conveniencia del experimento. La fuerza F y la distancia y se miden a intervalos según va produciéndose la exfoliación. Las posiciones correspondientes de la línea de bifurcación son registradas simultáneamente usando el método de interferencia del haz múltiple. De los valores de F e y puede deducirse el trabajo total efectuado durante el proceso. Parte de este trabajo queda acumulado como energía de resistencia en la mica y parte se consume durante el proceso de exfoliación. Se puede medir la energía necesaria para formar una unidad de área de la nueva superficie, separando la fracción usada en la exfoliación y deduciendo el área de la nueva superficie formada por el cambio en la posición de la linea de bifurcación.

Para la primera exfoliación de la mica, la energía necesaria es 300 erg/cm^2. Si se permite que ambas piezas se pongan de nuevo en contacto molecular, se ha observado que la mica es tan fuerte como en su estado original, pues el trabajo necesario ahora es de 250 erg/cm^2. Este resultado es sorprendente ya que era de esperar que el contacto con la atmósfera habría de resultar en la adsorción de gases y vapor de agua, con la consiguiente pérdida de resistencia.

Si las láminas se separan y se deposita en cada una de ellas una capa monomolecular de un ácido graso fluorinado, las láminas vuelven a adherirse cuando se las pone en contacto, pudiendo entonces determinarse el trabajo necesario para separarlas. Como era de esperar, el resultado es más bajo: 155 erg/cm^2. Esos valores son cálculos de la energía superficial de los materiales, ya que determinan el trabajo necesario para crear una unidad de área de interfaz sólido-aire.

Usando el aparato con los cilindros cruzados, también puede medirse la fuerza necesaria para cizallar la unión, esto es: la fricción. Tales experimentos han producido el valor muy elevado de 10 kg/mm^2 para la resistencia al cizallamiento de superficies de mica recientemente exfoliadas en contacto. El deterioro de la superficie de mica en tales condiciones es muy grande (Fig. 14). Se han obtenido observaciones semejantes usando láminas de mica en las que se había depositado una película monomolecular de un lubrificante; el material usado era el estearato de calcio depositado por el método de Langmuir-Blodgett. La resistencia al cizallamiento así obtenida era de 250 g/mm^2, no resultando deteriorada la superficie. Este resultado es útil porque demuestra que cuando los sólidos ordinarios lubrificados se deslizan uno sobre otro es necesario aplicar una fuerza considerable para cizallar la película de lubrificante.

CONCLUSION

Es evidente que existe una estrecha relación entre la fricción y la adhesión. Los materiales con un alto coeficiente de fricción dan potencialmente un alto coeficiente de adhesión. El que esta adhesión pueda observarse depende principalmente del efecto de las tensiones elásticas liberadas cuando se retira la carga. Los lubrificantes que reducen la fricción disminuyendo el área de contacto metálico producen también una mayor reducción de la adhesión. Semejantes factores son también importantes en la acción de los adhesivos.

AGRADECIMIENTO

Este artículo es principalmente una reseña de las investigaciones realizadas recientemente por mis colegas y yo. Deseo principalmente agradecer al Dr. D. Atack, Dr. A. I. Bailey, Dr. D. M. Kenyon, Dr. L. E. Raraty y Mr. M. Seal su ayuda en la preparación de este trabajo y la autorización recibida para citar estudios aún inéditos. En [1] se encontrará una reseña de los trabajos fundamentales.

REFERENCIAS

[1] Bowden, F. P. y Tabor, D. «The Friction and Lubrication of Solids». Oxford University Press, Londres. 1950. Edición revisada, 1954.
[2] McFarlane, J. S. y Tabor, D. *Proc. roy. Soc., A*, **202**, 244, 1950.
[3] Bowden, F. P. y Rowe, G. W. *Ibid.*, **233**, 429, 1956.
[4] Pascoe, M. W. y Tabor, D. *Ibid.*, **235**, 210, 1956.
[5] Beams, J. W. *J. Acad. Sci., Wash.*, **37**, 221, 1947.
[6] Savage, R. H. *J. appl. Phys.*, **19**, 654, 1948.
[7] Bowden, F. P. y Young, J. E. *Proc. roy. Soc., A*, **208**, 444, 1951.
[8] Tabor, D. *Ibid.*, **229**, 198, 1955.
[9] Reynolds, Osborne. «Mechanical and Physical Subjects». Cambridge University Press, Cambridge. 1901.
[10] Bowden, F. P. y Hughes, T. P. *Proc. roy. Soc., A*, **172**, 280, 1939.
[11] Bowden, F. P. *Ibid.*, **217**, 462, 1953.
[12] Bailey, A. I. y Courtney-Pratt, J. S. *Ibid.*, **227**, 500, 1955.
[13] Tolansky, S. «Multiple Beam Interferometry». Oxford University Press, Londres. 1948.

La fotosensibilidad animal, con especial referencia a las formas sin ojos

N. MILLOTT

Muchos animales sin ojos pueden percibir y reaccionar a la luz en una gran variedad de modos. Con frecuencia, la superficie general del cuerpo es sensible a la luz, pero son desconocidos aún el órgano preciso que la absorbe y el modo como actúa. El mismo tipo de sensibilidad se encuentra en animales cuyos ojos están perfectamente formados. Hay indicaciones de que el mecanismo de percepción es parecido fundamentalmente al del ojo y que la organización de tal sistema sensorial puede llegar a ser sorprendentemente compleja.

Se conocen poco los procesos visuales de los animales, aparte de los vertebrados, algunos artrópodos y cefalópodos. En consecuencia sabemos muy poco de la evolución de la visión. También nuestros conocimientos de cómo funciona un ojo complicado permanecen muy incompletos, y puesto que hay indicaciones de que el proceso de la fotorrecepción depende de un tipo de funcionamiento común fundamentalmente a una gran serie de formas animales, la búsqueda de un denominador común puede proporcionarnos datos importantes.

Ese «modelo de funcionamiento» común se compone de los procesos siguientes: 1°, la absorción de los quanta de energía luminosa, que eleva el nivel de energía de las moléculas capturantes. Esto se ha denominado fotorrecepción primaria y tiene lugar en el fotorreceptor. Como se absorbe luz visible, es indispensable la presencia de un pigmento apropiado, y éste determina la sensibilidad relativa del animal a las varias regiones del espectro. Por esta pigmentación se han reconocido con frecuencia las regiones fotorreceptoras; 2°, la excitación de algún mecanismo mediante el cual se producen cambios eléctricos mediante una rápida reordenación de grupos químicos reactivos que dan lugar a movimientos iónicos; 3°, la transferencia de la excitación a lo largo de canales conductores especializados (los nervios en animales celulares).

En los protozoos más sencillos no se han identificado todavía ni estructuras diferenciadas que absorben luz especialmente, ni pigmentos específicamente relacionados. En otros, aun en este plano de organización no celular, hay una tendencia en las áreas fotorreceptoras a localizarse como puntos o máculas oculares, suponiendo aparatos dióptricos algunas veces. Hay todavía algunas dudas sobre si la luz absorbida por el pigmento del punto ocular interviene directamente en la excitación, o si el pigmento actúa como un filtro de luz hacia la verdadera región receptora, que está mal definida. Como en muchos casos el color del punto o mancha ocular supone absorción de luz de la misma longitud de onda que se ha encontrado ser eficaz para excitar el animal, algunos investigadores han sostenido que la mancha ocular es en sí misma el fotorreceptor, otros afirman que simplemente aumenta la uniformidad y rapidez de las reacciones a la luz. Es muy significativo que los carotenoides, combinados posiblemente con proteína, se encuentran presentes en la mancha ocular (pág. 27).

El efecto de la luz puede ser directo y local, causando cambios en el espesor y elasticidad del plasmagel y afectando la rapidez de su cambio en plasmasol, y en consecuencia su movimiento. Y también puede afectar la velocidad y la dirección del movimiento modificando la acción de los diminutos organículos locomotores, de modo que se producen la coordinación y la conducción, si bien poco se sabe de ningún aparato especial para esta finalidad ni de cómo funcione. La respuesta del animal puede resultar de una luz de dirección uniforme o de cambios en intensidad. Algunos animales (v.g. *Stentor*) reaccionan a los aumentos, otros a las disminuciones, y otros, en fin, a ambas (v.g. *Volvox*).

En el vasto conjunto de los animales celulares pueden observarse las tendencias vistas en los Protozoos, y aun ir más lejos. La localización y especialización de regiones fotorreceptoras dan como resultado ojos sumamente complicados, pero los efectos directos locales de la luz y la sensibilidad general difusa persisten en un grado sorprendente, aun en formas o seres relativamente muy desarrollados, como los anfibios. La luz actúa directa y localmente en algunos cromatóforos. La sensibilidad

difusa aparece como el sentido dérmico de la luz o sentido dermatóptico en todos los filos [1].

El carácter de la respuesta a la luz varía grandemente. Puede encontrarse aislada y localizada, o general e integrada, referida a todo el animal. En esta última categoría van incluidas las «reacciones de retirada» de formas tales como los pólipos hidróideos, las anémonas de mar, los gusanos tubícolas y *Cucumaria frondosa*. La fotoquinesis (locomoción en una dirección variable con respecto al manantial de luz) se observa en las lampreas, *Myxina glutinosa*, y el siluro ciego. La fototaxis (locomoción en una dirección constante con relación al manantial de luz) se da en los brotúlidos, y en los peces cavernícolas. Los movimientos tropísticos (dirigidos por la luz) ocurren en los organismos sésiles como las hidroidas y gusanos tubícolas.

Se han registrado infinidad de veces las reacciones de los organismos individuales. A menudo parecen ser manifestaciones localizadas de los «movimientos de retirada» considerados anteriormente. Casos dignos de mención ocurren entre los moluscos *Pholas* (Fig. 14) y *Mya* en los que observamos una retracción del sifón como reacción a la luz, y en el tunicado *Ciona* (Fig. 9) en el que se cierran las aberturas sifonales; estas reacciones forman la base de los estudios clásicos de S. Hecht [2, 3]. Semejantes reacciones indicadoras aparecen muy notablemente entre los equinodermos; su gran número de órganos dotados de considerable independencia — como espinas, pedicelarios y podios — reaccionan individualmente o en grupos coordenados. En las Figs. 19–21 se ven las reacciones de los podios del erizo de mar *Lytechinus*. Las reacciones de las espinas del erizo de mar *Centrostephanus* (Fig. 4) y *Diadema* (Fig. 2) han sido examinadas con todo detalle por J. von Uexküll [4] y N. Millott [5] respectivamente. Los sistemas individuales son capaces de reaccionar a la luz. Por ejemplo, los sistemas reproductivos pueden reaccionar mediante actividad ovárica y testicular, maduración de células germinales y desove. Los gametos reaccionan a la luz por medio de movimientos tácticos o por fusión, y las células germinales primordiales mediante la maduración. En muchos animales aparecen ambas reacciones, la local y la integrada.

El tipo de reacción está relacionado con la clase de estímulo. Las reacciones cinéticas son resultado de iluminación constante, las reacciones tácticas y tropísticas provienen de luz parecida, pero direccional; se han registrado también reacciones localizadas a los cambios de intensidad. Semejantes reacciones pueden deberse a aumentos de intensidad únicamente, por ejemplo, en el molusco bivalvo *Psammobia*, o la estrella plumosa *Antedon*; o a disminuciones, como en *Holothuria*, *Thyone*, o *Synapta*, estrellas de mar como *Asterias* y *Cribrella*, gusanos tubiformes como *Branchiomma* (Fig. 10) y en los bivalvos como *Cardium* y *Pinna*. Reacciones tanto a aumentos como a disminuciones aparecen en moluscos como *Chiton*, y *Mactra*, y en equinoideos como *Diadema* y *Centrostephanus*.

Semejantes indicaciones de fotosensibilidad eran, por desgracia, las únicas disponibles hasta que se han aplicado los métodos electrofisiológicos. Con una limitación tan extrema, no es de extrañar que existan escasas pruebas en que podamos confiar acerca de las estructuras precisas, ni aun de las regiones de fotorrecepción dérmica.

Dentro de estos límites, se han obtenido la mayoría de las demostraciones directas utilizando estímulos localizados mediante pequeñas placas luminosas. Por este método, Millott [5] ha comprobado que toda la superficie de *Diadema* es sensible a la luz, pero no de un modo uniforme. Newth y Ross, empleando placas luminosas mayores, encontraron algo similar en el ciclostoma *Myxina glutinosa*. Los «ojos» de *Diadema antillarum* carecen de dicha estructura y tienen la apariencia de o se comportan como iridóforos (Fig. 15, ir.). A pesar de dicha detallada descripción, se ha puesto en tela de juicio repetidas veces la posición precisa de los ojos en el *Diadema setosum*. Lo propio hay que decir de los tentáculos terminales de los equinoideos y de los órganos, que se supuso eran fotorreceptores especializados, de diversidad de animales; así, las zonas pigmentadas, previamente denominadas «ojuelos», alrededor de las aberturas sifonales del *Ciona* (Fig. 9), en realidad son insensibles a la luz. En los gusanos tubiformes y en las estrellas de mar la situación es ambigua. Los puntos oculares en los tentáculos de la corona branquial del *Branchiomma* no son esenciales para la reacción más característica del animal a los cambios de intensidad de luz, y en las estrellas de mar no está muy clara la función de los ojos. La gran mayoría de los investigadores convienen en que la piel de varias estrellas de mar es sensible a la luz, pero los ojos (Figs. 7 y 11) se han descrito en *Asterias* y *Solaster* como esenciales para las reacciones fototácticas (aun cuando recientemente se ha negado esto en *Asterias forbesi*), mientras se establece que no es necesaria para la orientación en *Echinaster* o en *Asterina*. Aparte de su función

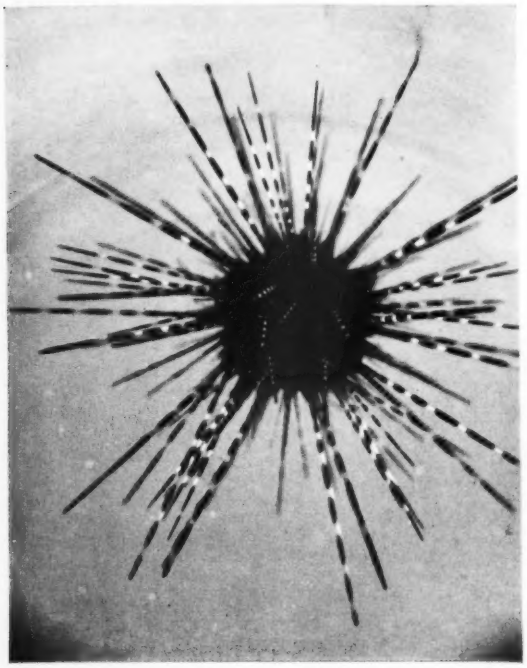


FIGURA 1 – Diadema antillarum. *Ejemplar joven en condición de adaptación a la luz cuando la melanina se ha dispersado sobre la superficie sensible a la luz y se ha disminuido la sensibilidad a las sombras.*

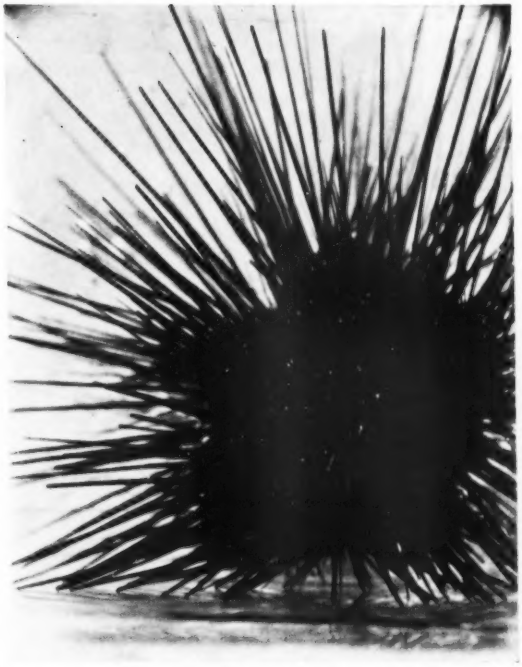


FIGURA 2 – Diadema antillarum. *Ejemplar adulto mostrando las espinas venenosas que se mueven vigorosamente hacia objetos sombreados.*

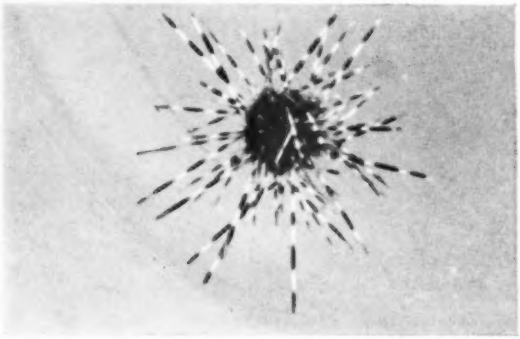


FIGURA 3 – Diadema antillarum. *El animal es más pálido debido a concentración de melanina, mostrando la superficie de ensayo sensible a la luz, de modo que la sensibilidad a las sombras queda aumentada.*

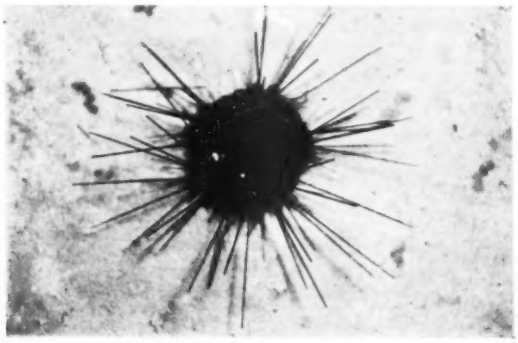
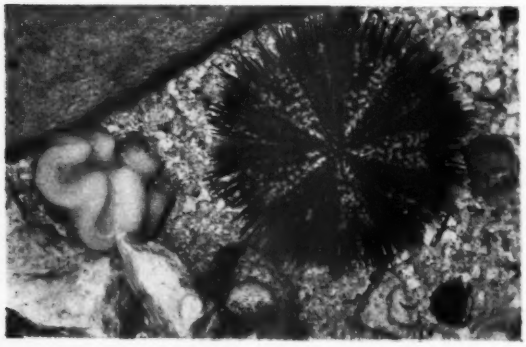
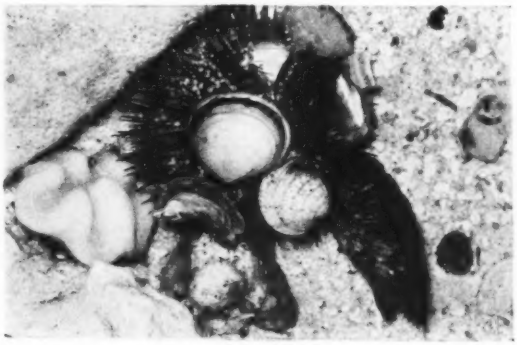
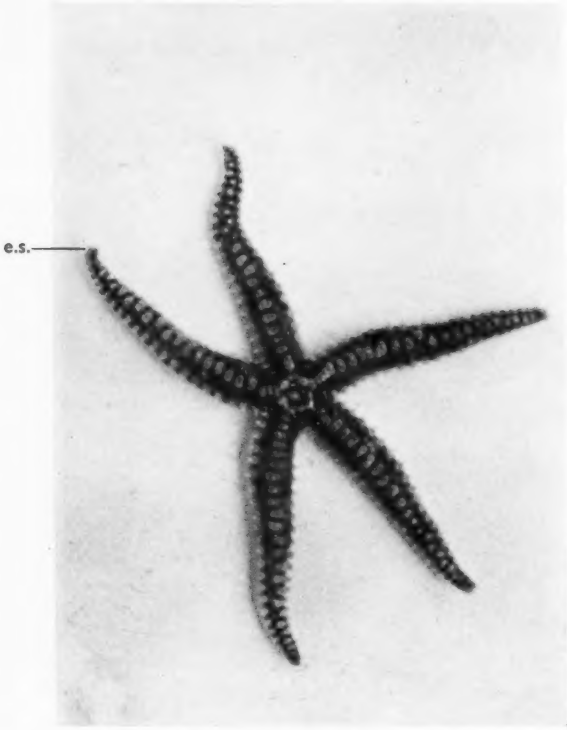


FIGURA 4 – Centrostephanus longispinus, *que muestra también marcados movimientos espinales y cambio de color como reacción a los cambios en la intensidad luminosa.*





FIGURAS 5 Y 6 – Lytechinus variegatus *mostrando la reacción de cubrirse. La Fig.* 5 *(izquierda) presenta al erizo de mar con la protección quitada. La Fig.* 6 *presenta al erizo según aparece ordinariamente en aguas someras iluminadas, cubierto de detritus, conchas y moluscos bivalvos, mantenidos en posición por los podios.*



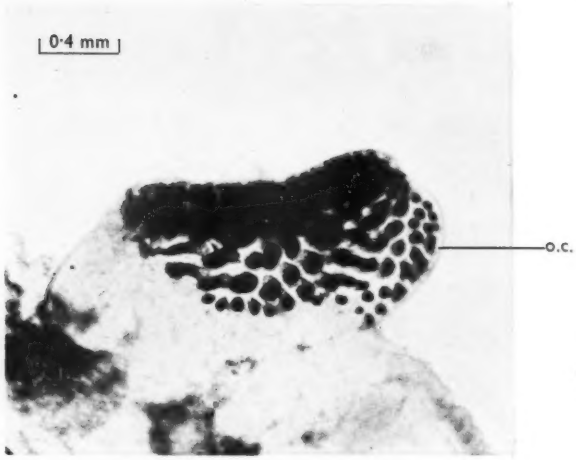


FIGURA 7 – Marthasterias glacialis. *Punto ocular cortado (cojín óptico) mostrando las cubetas ópticas (o.c.), cuyo color predominante se debe a β-carotina y astaxantina esterificada.*

FIGURA 8 – (*Izquierda*) Marthasterias glacialis, *mostrando la posición de un punto óptico (e.s.), uno de los cuales está presente en la extremidad de cada brazo. Algo del color de la pared del cuerpo se debe a los mismos pigmentos que los encontrados en los puntos ópticos.*

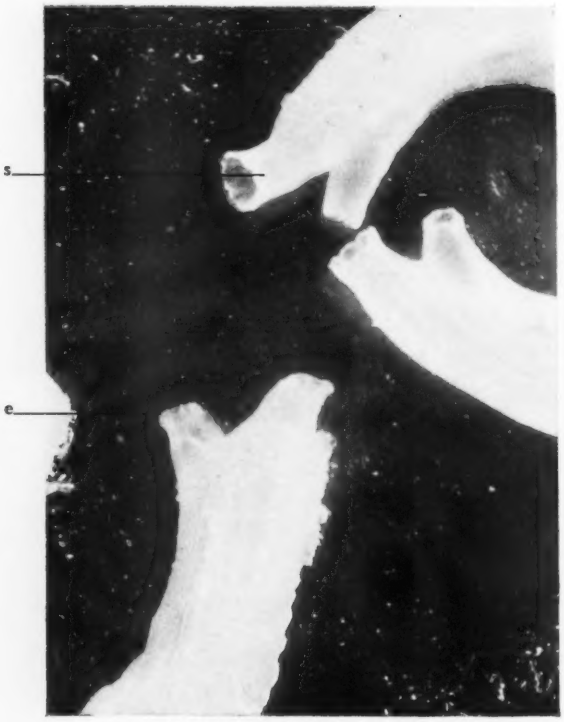


FIGURA 9 – Ciona intestinalis, *que reacciona a la luz por retracción de los sifones (s). Los llamados ojuelos (e) no son sensibles a la luz.*

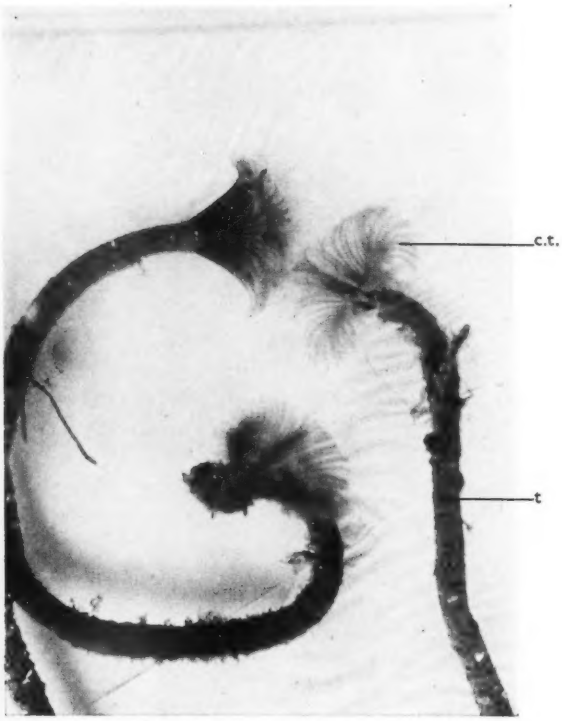


FIGURA 10 – Branchiomma vesiculosum, *que se retira dentro de su tubo (t) como reacción a la sombra, mostrando la corona de tentáculos (c.t.) sensible a la luz.*

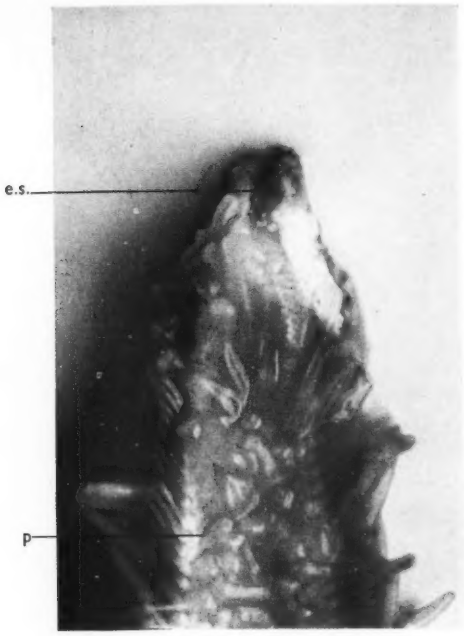


FIGURA 11 – Marthasterias glacialis. *La superficie inferior (oral) de una extremidad de brazo mostrando el punto ocular (e.s.) revelado por la separación de parte de la pared del cuerpo circundante; p: podios.*

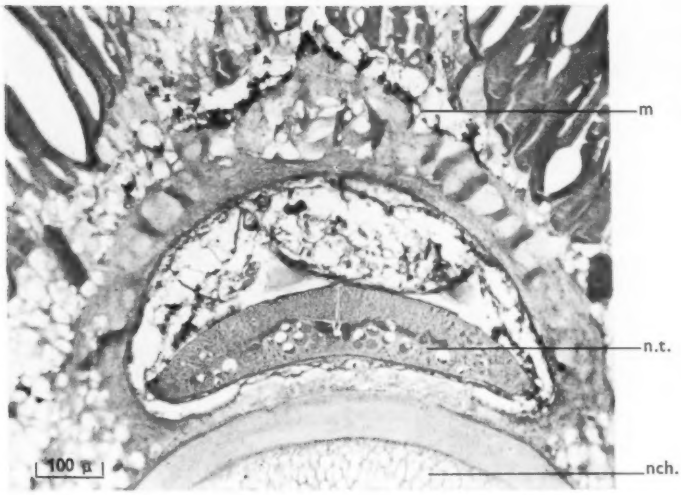


FIGURA 12 – *Parte de una sección transversal de la larva de lamprea, mostrando la melanina fotoabsorbente (m) que protege el sistema nervioso central (n.t.); nch.: notocordio.*

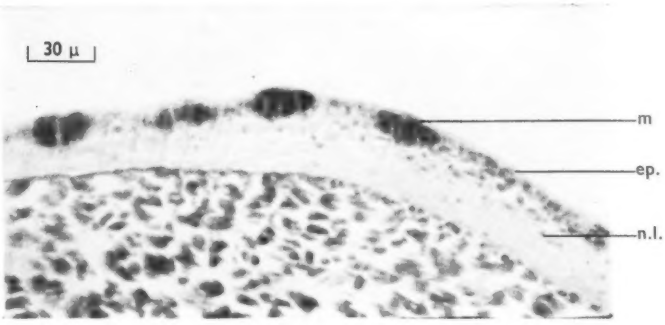


FIGURA 13 – Diadema antillarum. *Parte de una sección de una base de espina, mostrando los melanóforos (m) que protegen la capa superficial del nervio (n.l.); ep.: epidermis.*

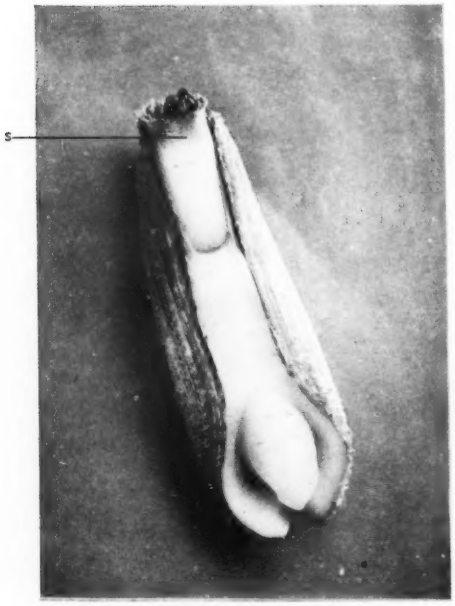


FIGURA 14 – Pholas dactylus, *mostrando el sifón (s) que se retrae cuando lo estimulan los cambios de la intensidad de la luz. Se afirma que toda la superficie es sensible a la luz.*

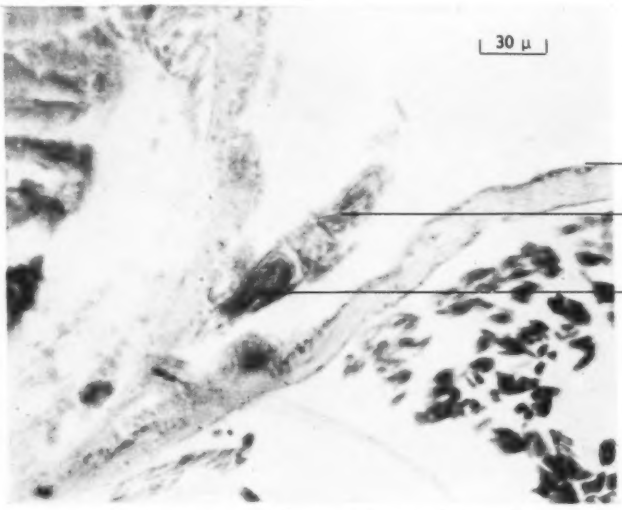
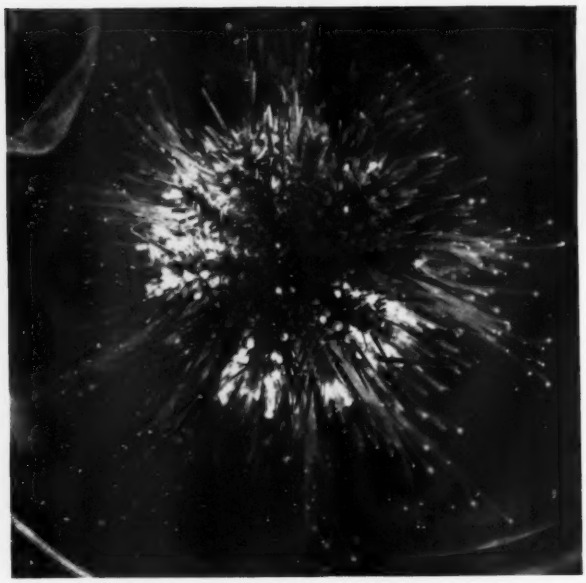


FIGURA 15 – Diadema antillarum. *Sección de la región entre dos bases de espina mostrando dos iridóforos (ir. y ir.'); s: epidermis que cubre la superficie exterior.*



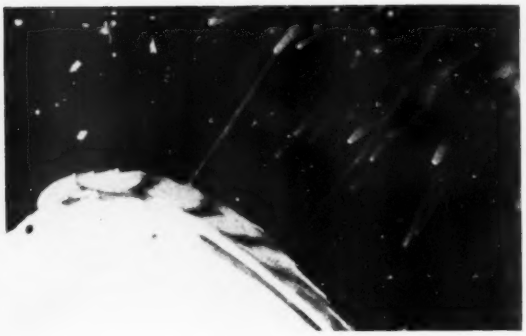


Figura 17

FIGURA 16 – (*Izquierda*) Lytechinus variegatus. *Ejemplar joven mostrando los podios extendidos, los cuales recogen materiales de los contornos y los sostienen para que sirvan de protección a la superficie aboral. Las extremidades blancas de los podios son ventosas.*

FIGURAS 17 Y 18 – Lytechinus variegatus. *Dos fases del proceso de cubrimiento. La Fig.* 17 *muestra dos podios extendidos, unidos por sus ventosas a la concha de un molusco (inferior izquierda). Las extremidades de las espinas del erizo de mar se ven en la parte superior derecha. Figura* 18*: Una fase posterior mostrando la concha, junto con otras dos similares después de ser arrastradas hacia las espinas por los podios. Se han aplicado a la concha podios tubulares adicionales.*

Figura 18

Figura 19

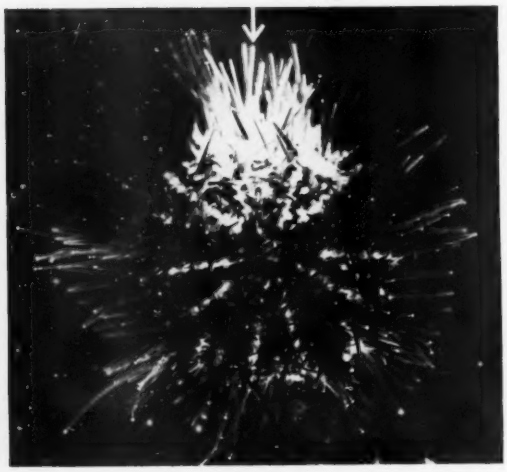


Figura 20

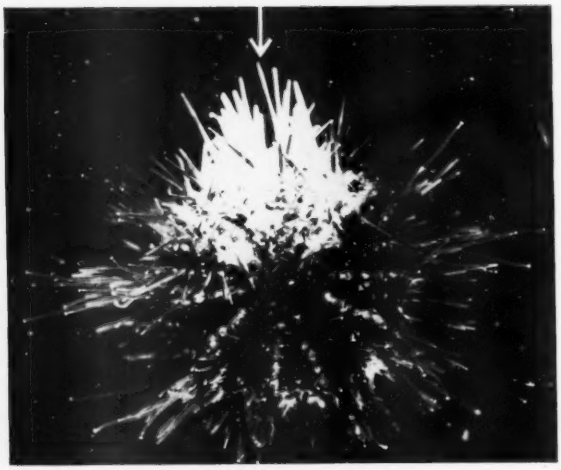


Figura 21

FIGURAS 19–21 – Lytechinus variegatus. *Reacciones de los podios a la luz. Figura* 19*: Extensión de los podios tubulares como consecuencia del descenso de intensidad de la luz: los podios tubulares en el haz de luz (en dirección de la flecha) fueron fotografiados mientras se extendían aún en respuesta a la breve interrupción de la luz. Figura* 20*: Extensión de los podios (identificables por sus ventosas terminales blancas) inmediatamente después de pasar de una luz de intensidad reducida a un haz uniforme, dirigido a lo largo de la flecha. Figura* 21*: Después de* 10 *minutos, los podios iluminados, no habiendo encontrado cubierta, se retiran; los podios restantes permanecen aún extendidos.*

en la orientación, se ha demostrado de un modo convincente que los ojos de una especie no especificada de *Asterias* eran reales y sensibles a la luz, gracias a la exquisita técnica de Hartline [10], quien registró los impulsos eléctricos en el punto o mácula ocular como consecuencia del estímulo luminoso. Coexiste aquí la sensibilidad dérmica con el ojo diferenciado, condición que existe también en otras formas, particularmente entre los insectos, donde los ojos son mucho más complicados. Mecanismos binarios parecidos los encontramos también en crustáceos como *Daphnia*, examinado recientemente de nuevo con toda escrupulosidad por J. E. Harris y P. Mason, pero la localización de la fotosensibilidad difusa es desconocida todavía.

A más de los ojos, la sensibilidad a la luz de la superficie general del cuerpo puede presentar alguna diferenciación. De modo que en varios moluscos que presentan dicha sensibilidad difusa, el borde del manto, las extremidades de los sifones, y las agallas del manto son las regiones más sensibles. En algunos gusanos tubiformes, la sensibilidad está confinada a los tentáculos (Fig. 10) cuyo cuarto distal es más sensible que el resto. En los ciclostomas, tanto la región anterior como la anterior y posterior del cuerpo son muy sensibles. En los peces, las regiones posteriores son las más sensibles. En la lapa *Ptychodora*, como en ciertos gusanos, el extremo anterior del cuerpo es muy sensible. En algunas estrellas de mar se ha descrito una diferenciación interesante; se ha comprobado que los podios y las agallas de la piel son particularmente sensibles a la luz constante, mientras que la superficie del cuerpo parece ser sensible a los cambios de intensidad. En *Synapta*, toda la superficie es sensible a ambos. Toda la superficie de *Holothuria surinamensis* es sensible a la sombra, pero el borde de la cloaca es particularmente sensible, el extremo posterior y los tentáculos son menos sensibles, y la menor sensibilidad se encuentra en los podios.

Intentando relacionar la distribución diferencial de la sensibilidad en la superficie del cuerpo con la estructura histológica se han hecho esfuerzos para identificar las estructuras precisas que intervienen en la fotorrecepción. En gusanos terrestres y en el bivalvo *Mya*, las regiones sensibles incorporan células especiales con organoides parecidos a lentes, que se prolongan dentro de las fibras nerviosas, dando al aparato todo el aspecto de un fotorreceptor. En la piel de las larvas de lamprea D. Steven ha descrito células sensoriales en apariencia esparcidas, conteniendo lo que parece ser una carotenoide-proteína. Su amplia distribución y la pigmentación (*Vid. infra*), junto con algunos rasgos de adaptación oscura, sugieren que estas estructuras pueden intervenir en la fotorrecepción. Crozier ha sugerido que las células pigmentadas en la piel de la *Holothuria surinamensis* eran tal vez fotorreceptoras. En general, sin embargo, la localización de la sensibilidad está demasiado mal definida para ser de alguna utilidad, y en todos estos casos se necesita claramente una prueba evidente: la demostración electrofisiológica de fotosensibilidad. Muchos investigadores han buscado estructuras histológicamente definidas o evidentemente pigmentadas. Sin embargo, no es esencial semejante diferenciación, pues aparte del factor limitativo de la técnica, una organización bioquímica no tiene, por necesidad, que resultar en una diferenciación histológica visible. Lo mismo cabe decir a la preocupación por los pigmentos visibles, pues los protozoos más sencillos reaccionan realmente a la luz visible sin pigmentos, y el magistral análisis bioquímico de G. Wald [6] y sus asociados, junto con los análisis fisiológicos parecidos de R. Granit [7], W. A. H. Rushton, y otros, indican que, aun en algunos ojos muy complejos, se requiere directamente poco pigmento fotosensible para la excitación.

La fotosensibilidad recientemente descrita en el equinoideo *Diadema* [5], ha demostrado que existe una notable correspondencia entre la distribución de la sensibilidad y la de los elementos nerviosos tanto superficiales como profundos. Aun cuando, como los descubrimientos previos de J. Z. Young en las lampreas, esto no suministra pruebas, con todo sugiere claramente que tales elementos pueden ser excitados directamente por la luz. Semejante idea no es admisible, puesto que se acepta generalmente que los sistemas de percepción luminosa entrañan la existencia de fotorreceptores integrales, morfológicamente especializados. Sin embargo, no parece improbable semejante efecto directo sobre los nervios, pues los procesos excitantes en fotorreceptores, células nerviosas y fibras tienen una manifestación eléctrica parecida. Además, esto podría explicar enseguida la fotosensibilidad dérmica predominante de los equinoideos, en los que gran parte del sistema nervioso se extiende por debajo de la superficie. No hay demostración de dicha propiedad en los nervios de los equinodermos, pero hay indicaciones de que las estructuras nerviosas, distintas de los fotorreceptores especializados, son excitadas por la luz en otros animales; como ejemplo tenemos el sexto ganglio abdominal del

cabrajo y las langostas, el ganglio genital de *Aplysia*, y los elementos nerviosos en el cerebro de las lampreas, *Leuciscus phoxinus* y los patos. En los dos primeros casos se ha registrado la actividad. eléctrica que proviene de la acción de la luz.

Indicaciones de otro tipo resultan de experimentos en que los nervios, por ejemplo de ranas y cangrejos, se han hecho fotosensibles mediante colorantes. Estos experimentos deben, sin embargo, interpretarse con cautela. Puede que revelen la existencia de una sensibilidad potencial a la luz en dichos nervios, que pueden carecer normalmente de un amortiguador de luz adecuado. Por otra parte, se sabe desde hace largo tiempo que los colorantes de eosina empleados en estos experimentos producen en la materia viviente efectos esencialmente destructivos. Estos efectos se parecen a las oxidaciones fotosensibilizadas, en especial de los grupos —SH (la llamada «acción fotodinámica») y difieren fundamentalmente de los procesos fotosensibilizados normales en la materia viviente [8]. Un estudio de animales difusamente fotosensibles ha abierto ya un nuevo camino para una mejor perspectiva de este problema fundamental, pues en el erizo de mar *Lytechinus* (Figs. 5 y 6), que se cubre a sí mismo cuando queda expuesto a fuerte luz solar, se provoca idéntica respuesta en luz relativamente débil por medio de inyecciones de colorantes fotodinámicos como la Eosina Y y el rosa-bengala. Como se verá claramente por las Figs. 17 a 21, la reacción es compleja, entrañando reacciones de los podios a luz continua y uniforme (Figs. 20 y 21) y a los cambios de intensidad (Fig. 19). Como consecuencia de estas reacciones coordenadas, el animal levanta conchas y despojos cercanos y los mantiene como pantallas sobre la superficie sensible a la luz. En este caso el colorante inyectado fotosensibilizó una cadena normal, compleja y coordenada de acontecimientos.

A pesar del gran número de observaciones ha habido pocas tentativas serias para analizar en términos termodinámicos el mecanismo sobre el que se basa el sentido dérmico luminoso. Los estudios clásicos debidos a Hecht [2, 3] realizados en el *Ciona* y *Mya* son todavía la base de dichos análisis.

Hecht concibió dos grandes procesos como resultado de la acción de la luz. Un proceso fotoquímico inicial, no influenciado por la temperatura y presentando cierta conformidad con las relaciones recíprocas de tiempo e intensidad prescritas por la Ley de Bunsen-Roscoe y un proceso «oscuro» subsiguiente, ajustándose a las reacciones del tipo térmico. Un estudio de las relaciones entre la intensidad de la luz aplicada y el intervalo entre su aplicación y el comienzo de la reacción (tiempo de reacción), juntamente con los cambios de sensibilidad experimentados en la oscuridad, le condujeron a postular la siguiente relación fundamental para una intensidad dada.

Tiempo de reacción = período de sensibilización + período latente.

El tiempo de sensibilización es el tiempo mínimo durante el cual el animal debería estar iluminado para producir una reacción.

A base de estas relaciones y sus características de temperatura — junto con la variación de tiempo de sensibilización con la recíproca de la intensidad, la capacidad del animal para conseguir el equilibrio sensorial a una intensidad cualquiera, y el cambio en el tiempo de reacción después de un período de oscuridad — Hecht postuló las reacciones del tipo siguiente como los procesos fundamentales que servían de base a la sensibilidad a la luz.

1. Una reacción fotoquímica bimolecular en que una substancia fotosensible S se descompone en luz produciendo o dando lugar a los productos P (un precursor de S) y una substancia accesoria A. P y A se recombinan para formar S en la reacción «oscura» primaria.

$$S \underset{\text{Oscuridad}}{\overset{\text{Luz}}{\rightleftarrows}} P + A$$

2. Una o ambas de las substancias P y A se supone que catalizan una reacción «oscura» secundaria, en que una substancia inerte L se transforma en una substancia activa T, que estimula el nervio sensorial.

Hecht se daba cuenta cabal de las faltas y deficiencias de su sistema, que él propuso deliberadamente en la forma concreta lo más sencilla posible. Y así hizo hincapié en que la reacción (1), si bien por conveniencia se presenta como reversible, es probablemente en realidad más compleja y no estrictamente reversible. En (2) se ha sugerido que la catálisis por los productos de fotolisis es uno de los medios posibles de producir T, pero se han indicado otros medios, incluyendo la combinación de L y un producto de fotolisis inclusive.

Las dos reacciones «oscuras» se consideran como consecutivas, pero Newth y Ross, a base de sus descubrimientos en el ciclóstomo *Myxina*,

sugieren que son contemporáneas o que se superponen. Steven, trabajando con el mismo animal, observó que las reacciones a la luz se componen de una reacción inicial, local algunas veces, y más tarde de una actividad natatoria. Por consiguiente insinuó que en *Myxina* intervienen dos planos de excitación, y que a ellos se debe la reacción doble.

Los amplios estudios de Wald y sus asociados han puesto de manifiesto la necesidad de una elaboración mucho mayor para que el sistema pueda continuar siendo aplicable a los acontecimientos en las retinas, donde han demostrado que la regeneración de las substancias fotosensibles es un complicado proceso que implica reacciones que absorben energía y reacciones productoras de energía, así como una enzima isomerizante sensible a la luz.

Un esquema parecido al de Hecht lo propuso Crozier para explicar las reacciones de *Holothuria surinamensis*, a la luz uniforme y a los cambios de intensidad. Tanto los productos de la descomposición fotolítica de un pigmento de la piel como los cambios en su concentración ocasionados por cambios en la intensidad de la luz parecen estimular los nervios.

Un rasgo fundamental de todo mecanismo perceptor de luz es la naturaleza del pigmento absorbente, puesto que su absorción específica es un factor limitante decisivo en la sensibilidad. En consecuencia, el grado de sensibilidad a las varias regiones espectrales puede dar alguna idea de los pigmentos que intervienen. Aunque han sido identificados los pigmentos presentes en muchos tipos de ojos, no tenemos prueba directa de la naturaleza de los pigmentos que forman parte del sentido dérmico de la luz. La identificación podría parecer difícil, pues en muchos casos, a juzgar por la ausencia total de color en el ojo humano, los encontramos presentes en pequeña cantidad; además, en algunos erizos de mar (Fig. 2), están encubiertos por cantidades relativamente grandes de pigmento cutáneo, como la melanina, que no desempeña un papel directo conocido en la visión. Es comprensible que muchos investigadores hayan buscado indicios en los ojos, en los que, aun en los más sencillos, se hallan más concentrados los pigmentos. Estos pigmentos oculares se han identificado especialmente en los vertebrados, pero también en algunos artrópodos y cefalópodos. Un rasgo notable es su uniformidad; muchos son proteínas carotenóideas. Una de ellas es la astaxantina que se encuentra también en las partes de las plantas dotadas de fototropismo. La íntima relación de estos pigmentos con la fotosensibilidad queda indicada claramente en su absorción espectral, que sigue muy de cerca la sensibilidad espectral de los animales dotados de ella. Una correspondencia bastante cercana entre las regiones espectrales que más evocan reacciones indicadoras en algunos animales que perciben la luz por otros medios distintos de los ojos, y las regiones del espectro más fuertemente absorbidas por estos pigmentos visuales, sugiere que deben intervenir las mismas clases de pigmentos. Así, Steven ha demostrado que la sensibilidad espectral de *Mya*, *Ciona*, *Pholas* y *Lampetra* era compatible con derivados de la vitamina A del tipo rodopsina-porfiropsina. Es prudente proceder con cautela al identificar los sistemas fotosensitivos con compuestos particulares, pues en las proteínas carotenoideas la absorción varía en mitad prostética y mitad proteínica, y deben tenerse en cuenta muchos factores físicos al hacer comparaciones válidas y adecuadas entre absorción y sensibilidad espectral [9].

Otras indicaciones han provenido de los estudios de los pigmentos en la piel y en los puntos oculares de las estrellas de mar. Así en *Marthasterias* (Figs. 7 y 8), los pigmentos predominantes en ambos son β-carotina y astaxantina esterificada, pero es tal vez prematuro sacar conclusiones definitivas de semejantes observaciones, puesto que los puntos oculares de *Marthasterias* no se ha comprobado todavía que sean fotosensibles. Sin embargo, existe una condición parecida en el *Asterias forbesi*, en el que la piel y los puntos oculares contienen un pigmento fotosensible no identificado todavía; como se dijo ya, Hartline ha demostrado de un modo conclusivo una reacción a la luz en el punto ocular de una de las especies de *Asterias*.

Los pigmentos que no intervienen directamente en la visión pueden representar un papel notable indirecto resguardando y filtrando pigmentos en superficies sensibles a la luz, tanto en ojos como en otras partes. Los resultados obtenidos por H. F. Blum y D. L. Fox, que han estudiado la sensibilidad espectral del flagelado *Dunaliella*, sugieren que dicho pigmento puede encontrarse aun en los Protozoos, y que los carotenoides, como la astaxantina, parecen funcionar de este modo en los ojos complejos de los crustáceos. Con frecuencia se ha sospechado que las melaninas, en virtud de su fuerte absorción de la luz y de la naturaleza de su distribución histológica, actuaban como una cubierta protectora en las estructuras sensibles a la luz. Así, en las lampreas, dicho pigmento en la piel y alrededores de la médula

espinal (Fig. 12), según mostró Young, es eficaz para proteger el sistema nervioso central sensible a la luz y los nervios lineales laterales. Millott [5] (Figs. 1 y 3) ha demostrado la importancia de la melanina en el sentido dérmico luminoso en las formas jóvenes de *Diadema*, en el que el pigmento participa en el cambio de color. La sensibilidad a los cambios en la intensidad de luz, empleando las reacciones de locomoción y espinales como indicadores, varía con el grado de dispersión de la melanina en la piel. Como resultado pueden reconocerse fases adaptadas a la luz (oscuras en color, Fig. 1) y fases adaptadas a la oscuridad (pálidas en color, Fig. 3). Las adaptadas a la oscuridad son con mucho las más sensibles. Los melanóforos yacen (*m*, Fig. 13) inmediatamente en el exterior de la capa nerviosa superficial (*n.l.*), una posición que explica por qué la dispersión y concentración del pigmento puede influir seriamente en la intensidad de la luz que penetra en la piel. Estos mecanismos de control recuerdan los que algunas veces se atribuyen a la melanina en la retina de algunos crustáceos, insectos, y vertebrados, cuya concentración y dispersión forma parte de lo que se ha llamado «movimientos fotomecánicos» en esos ojos.

Algunos erizos de mar que viven en aguas someras iluminadas por el sol no poseen cantidades tan extraordinarias de pigmento protector. Una de las especies, *Lytechinus variegatus* (Fig. 5), es muy sensible a la luz, se recubre ampliamente con detritus (Fig. 6), acción que se sabe es iniciada en otras especies por luz relativamente fuerte. Ello da a entender que este comportamiento es una forma de compensación por la falta de pigmento protector.

Al comparar la organización general de un sistema de fotorreceptor dérmico, como el de *Diadema*, con el de un vertebrado complejo o con el ojo de un artrópodo, aparecen ciertos paralelismos. Las reacciones a los cambios en la intensidad luminosa evocan las reacciones de conexión e interrupción de la descarga óptica. En cada una de ellas el mecanismo fotorreceptor primario va asociado con pigmentos accesorios, la disposición de los cuales puede variar hasta el punto de alterar la cantidad o los caminos de la luz incidente. Además, la melanina en *Diadema* joven, lo mismo que en algunos ojos, presenta un ritmo diurno de dispersión y concentración. Muchos ojos complejos contienen elementos reflectores que forman una membrana o capa de células, en apariencia con el objeto de reflejar y difundir la luz de pequeña intensidad sobre una superficie receptora; su imagen aparece en los iridóforos de *Diadema* (*ir.*, Fig. 15) con luz difusa sobre la superficie general del cuerpo (*s*) y puede, en consecuencia, aumentar de modo notable la capacidad del erizo de mar para reaccionar a la luz de intensidad reducida.

Esta complejidad de organización es un poco sorprendente y puede ser una reflexión de la importancia del sentido dérmico luminoso. Donde faltan los ojos o son inadecuados, semejante sentido es suficiente, cuando produce el estímulo la luz uniforme, para asegurar que el animal alcanze las condiciones de iluminación que mejor se adapten a su modo de existir, nadando como las lampreas, taladrando como el martín pescador, retirando partes expuestas de su cuerpo como algunos cabrajos y langostas, o cubriéndose como *Lytechinus*. Cuando el estímulo consiste en cambios de intensidad, el sentido es bastante para asegurar la retirada respecto a un estímulo perjudicial de aumento de iluminación, o de las sombras que puedan señalar un cambio nocivo o la presencia de algo en las cercanías. El sentido es también suficiente para asegurar el movimiento hacia objetos sombreados, como puede acontecer con los podios de *Lytechinus* (Fig. 19) en la captura de trozos de tegumento, o en los movimientos defensivos de las espinas en el erizo de mar.

El autor agradece la autorización recibida para reproducir algunas de las ilustraciones al Dr. G. Bras, y a Mr. G. Underwood del University College de las Indias Occidentales (Figs. 1 y 3 y Figs. 5 y 6 respectivamente); y al Dr. M. J. Wells, de la *Stazione Zoologica* de Nápoles (Fig. 4).

BIBLIOGRAFIA

[1] Nagel, W. A. «Der Lichtsinn augenloser Tiere». Fischer, Jena. 1896.
[2] Hecht, S. *J. gen. Physiol.*, **1**, 545, 1918.
[3] *Idem. Ibid.*, **8**, 291, 1925.
[4] von Uexküll, J. *Z. Biol.*, **34**, 315, 1897.
[5] Millott, N. *Phil. Trans.*, *B*, **238**, 187, 1954.
[6] Wald, G. *Amer. J. Ophthal.*, **40**, 18, 1955.
[7] Granit, R. «Receptors and Sensory Perception». Yale. 1955.
[8] Blum, H. F. «Photodynamic Action and Diseases Caused by Light». Reinhold Publishing Corporation, Nueva York. 1941.
[9] Dartnall, H. J. A. *Brit. med. Bull.*, **9**, 24, 1953.
[10] Hartline, H. K., Wagner, H. G., y MacNichol, E. J. Jr. *Cold Spring Harb. Symp. quant. Biol.*, **17**, 125, 1952.

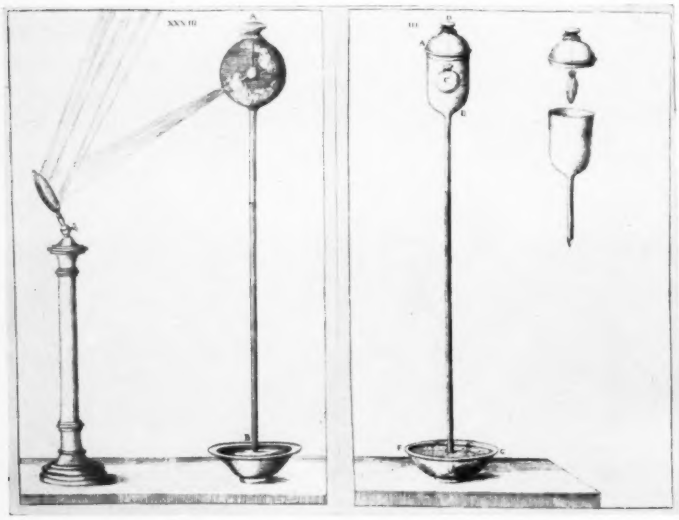
Las primeras bombas neumáticas

E. N. DA C. ANDRADE

La obtención de un vacío elevado es una parte esencial en muchos de los procesos modernos de la investigación y de la industria. En los aceleradores de partículas atómicas, en las enormes plantas atómicas, en las fábricas donde se manufacturan todos los tipos de lámparas eléctricas, válvulas y similares, en todos éstos, y en otros muchos casos, son esenciales grandes instalaciones neumáticas. Sin embargo, todo ello, es obra de los últimos cincuenta años, principalmente como resultado de las ingeniosas investigaciones de Gaede. Lo que se describe aquí es la historia de la bomba neumática antes de estos desarrollos modernos.

El primer hombre que creó deliberadamente un vacío, y se dió cuenta clara de lo que había hecho, fue Torricelli, discípulo de Galileo. Este, en el Primer Día de sus *Diálogos* había llamado la atención sobre el hecho de que una bomba no podía elevar agua a una altura mayor de 18 brazos (que parece equivalían a 1060 cm, un margen holgado por encima del límite lograble de hecho). También había señalado que el aire posee un cierto peso, pero, con toda seguridad, no relacionó entonces el peso de la atmósfera con la altura de la columna de agua. En 1644 Torricelli describió su famoso experimento en una carta a Michel Angelo Ricci. Lo que nos importa aquí es el desarrollo del método de Torricelli para crear un espacio vacío en que realizar experimentos; esto fue llevado a cabo por la *Accademia del Cimento* y publicado en sus *Saggi di Naturali Esperienze* en 1667.

La parte superior del tubo barométrico se agrandó, dándose acceso a este espacio por una abertura que podía obturarse con una membrana de vejiga sujetada convenientemente. En tal espacio se llevaron a cabo experimentos notables. Se mostró, por ejemplo, que la fuerza magnética era la misma en el vacío que en el aire; que en el vacío, el humo producido al calentar una bola pequeña de betún con luz solar enfocada con un espejo descendía; que una vejiga de cordero, estrujada y atada de tal manera que sólo contuviese un poco de aire, se inflaba en el vacío hasta formar una esfera (Figs. 1 (*a*) y 1(*b*)). Este método de crear un vacío, que fue utilizado mucho después por Rumford, puede ser considerado como equivalente a emplear una bomba de mercurio de un solo golpe de émbolo, y los experimentos conseguidos son precursores lejanos de aquéllos realizados con las bombas Geissler y Töpler doscientos años más tarde. Fueron, desde luego, posteriores a la invención de la bomba neumática de Guericke y de las más antiguas de Boyle, que describiremos a continuación.



(a) (b)

FIGURA 1 – *Experimentos llevados a cabo por la* Accademia del Cimento *con el vacío de Torricelli.* (a) *humo cayendo en el vacío;* (b) *una vejiga de cordero, que contiene un poco de aire, hinchándose en el vacío. En ambos casos la parte superior de la vasija experimental está cubierta con una membrana, pero en* (b) *ésta está sujeta a una tapa de vidrio, de la que no se hace mención en el texto.*

Fue Guericke, naturalmente, quien primero construyó una bomba neumática entendida como un instrumento mediante el que podía vaciarse progresivamente cualquier espacio hasta el límite

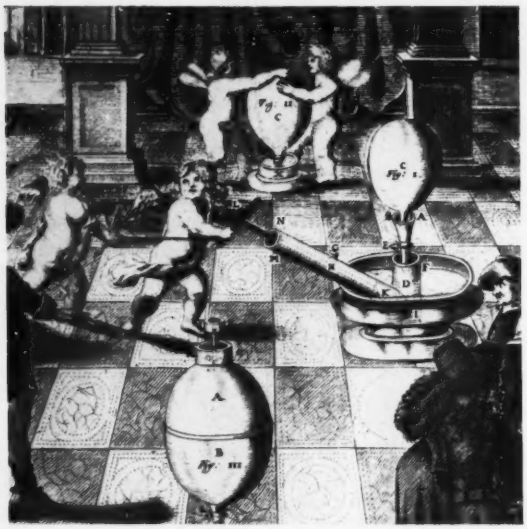


FIGURA 2 – *La primera representación de una bomba neumática, según la descripción de los primeros trabajos de Guericke en la* Mechanica Hydraulico-Pneumatica *de Schott.*

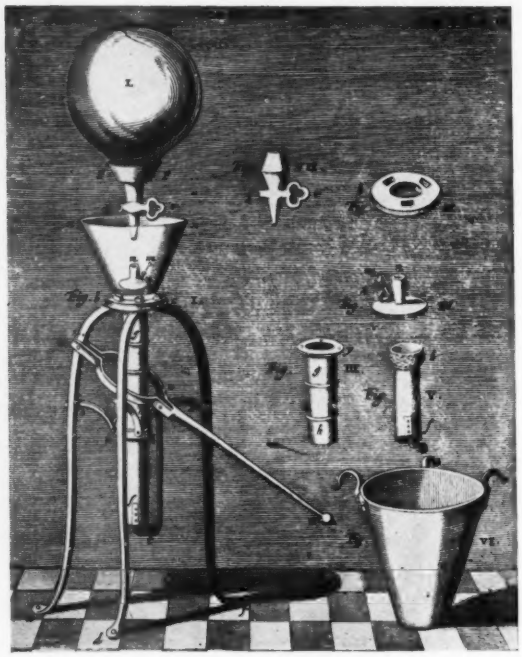


FIGURA 3 – *La bomba de Guericke, tal como aparece ilustrada en* De Vacuo Spatio.

impuesto por los escapes y la presión del vapor. Es incierta la fecha exacta de su primer resultado satisfactorio. El mismo Guericke, que nació en Noviembre de 1602, dió una relación completa de todo su trabajo en sus *Experimenta Nova* (*ut vocantur*) *Magdeburgica de Vacuo Spatio* en 1672, bastante después de haber sido ejecutados. Sin embargo, el famoso experimento de Magdeburgo fue citado mucho antes y la bomba descrita, con la aprobación y conocimiento de Guericke, por el jesuíta Kaspar Schott, escritor muy fecundo en materias científicas, en su *Mechanica Hydraulico-Pneumatica* (1657), libro que sirvió para despertar el interés de Robert Boyle en la bomba neumática. El experimento fue llevado a cabo en 1654 en la presencia del Emperador y de los Príncipes, reunidos en Magdeburgo.

En esta famosa exhibición se utilizaron dos «hemisferios de Magdeburgo» de cobre, de unos 50 cm de diámetro,[1] provistos de sendos anillos de hierro a los que podían engancharse tiros de caballos. Se unieron ambos de modo que formasen una esfera, haciéndose hermética la junta mediante una arandela de cuero empapada en cera y trementina. Una vez vaciado el espacio interior, dos tiros de ocho caballos no pudieron separarlos: se hubiera requerido una tracción de unas 1,5 toneladas para conseguirlo. Guericke también llevó a cabo el experimento con hemisferios de unos 70 cm de diámetro.

En la Fig. 2 se muestra la bomba neumática ilustrada por Schott, que es la primera representación de tal máquina que se ha publicado. Tiene dos válvulas, una en H, y la otra en I. No se dan detalles de estas válvulas, pero se nos dice que la que está en I se abre hacia adentro, hacia I, y se cierra hacia D — esto debe interpretarse como que se abre cuando se retira el émbolo y se cierra cuando se le empuja hacia adentro — mientras que la que está en H se abre hacia afuera, hacia el aire, bajo la presión interna y se cierra cuando

[1] Guericke dice que los hemisferios tenían un diámetro de tres cuartos de «ana» de Magdeburgo; «o (porque los artífices no hicieron las vasijas exactamente como fueron encargadas) 67 centésimas de ana de Magdeburgo». Como tuve alguna dificultad en encontrar la longitud de este ana, puedo mencionar que en la *Encyclopédie Méthodique*, Sección Comercio (Vol. III, pág. 165, 1784) se da su valor como de 295,6 líneas francesas; 144 líneas francesas forman un pie de París, que tiene 1,066 pies ingleses. De aquí se deduce que el ana de Magdeburgo tiene 67 cm, así que podemos asumir que el diámetro de las esferas de Magdeburgo fue, más o menos, de 50 cm. Todas las historias de la ciencia que he consultado registran el diámetro en anas de Magdeburgo. Como únicamente tiene interés una medida aproximada de las esferas, estos detalles pueden parecer fastidiosos, a menos que se recuerde que el ana variaba desde 114 cm en Inglaterra hasta 56 cm en Leipzig, por citar sólo aquéllas que son familiares.

ésta disminuye. Claramente la colocación de las válvulas no es muy eficiente, y Schott dice que el movimiento (*agitatio*) del émbolo ha de prolongarse por dos, tres o más horas, la capacidad del recipiente C. Los querúbicos mozos de laboratorio que aparecen en el fondo han colocado un recipiente evacuado boca abajo sobre el agua; Schott dice que, cuando se abra la llave, el agua se precipitará hacia dentro con gran tumulto, como si hirviese. La llave E puede usarse para cerrar la vasija una vez evacuada. Por lo visto el experimento de Magdeburgo se llevó a cabo con un instrumento semejante.

La forma final de la bomba de Guericke, tal como se la representa en *De Vacuo Spatio*, donde se la describió por vez primera, aparece en la Fig. 3. Presenta mucho parecido con la de Boyle, y es muy probable que Guericke hubiera visto el libro de aquél, del que apareció una edición latina en 1661, aunque no le cita en ninguna parte. El cilindro vertical *gh* estaba sujeto por un trípode y aparece en detalle en la *Fig.* III. En la parte superior había una arandela de plomo para lograr un ajuste hermético. El émbolo, ilustrado en la *Fig.* V, era de madera, con un prensaestopas. Para permitir la salida del aire había una valvula de cuero *z*, cerrada por un muelle (*Fig.* IV). Este funcionaba durante los primeros ciclos: cuando la presión del aire disminuía demasiado para abrirlo, se utilizaba la válvula de clavija *m* operada a mano. El funcionamiento de la llave *qr* y de la valvula *m* era como en el modelo de Boyle, y serán descritos cuando se considere éste. La misión de la vasija cónica *xx* en la parte superior del cilindro y de la que aparece en la *Fig.* VI, que estaba colgada de tal forma que envolvía el extremo inferior del cilindro, era contener agua con el propósito de cerrar herméticamente las diversas juntas. El recipiente era de vidrio, pegado al accesorio de latón que sujetaba la llave.

Boyle describió por vez primera su bomba en *New Experiments Physico-Mechanicall Touching the Spring of the Air*, publicado en 1660. Dice ahí que conocía, pero que no lo había hojeado, el libro del prolífero jesuíta Schottus, y escribe que «aquel ingenioso caballero Otto Guericke, Burgomaestre de Magdeburgo había empleado últimamente en Alemania una forma de vaciar vasijas de vidrio, extrayendo el aire en la boca de la vasija sumergida en agua». Robert Hooke, empleado como ayudante en aquella época por Boyle, fue quien construyó la bomba, como éste reconoce abiertamente, la cual lleva la marca del genio de su constructor. En la Fig. 4 puede verse la bomba, que constaba de un

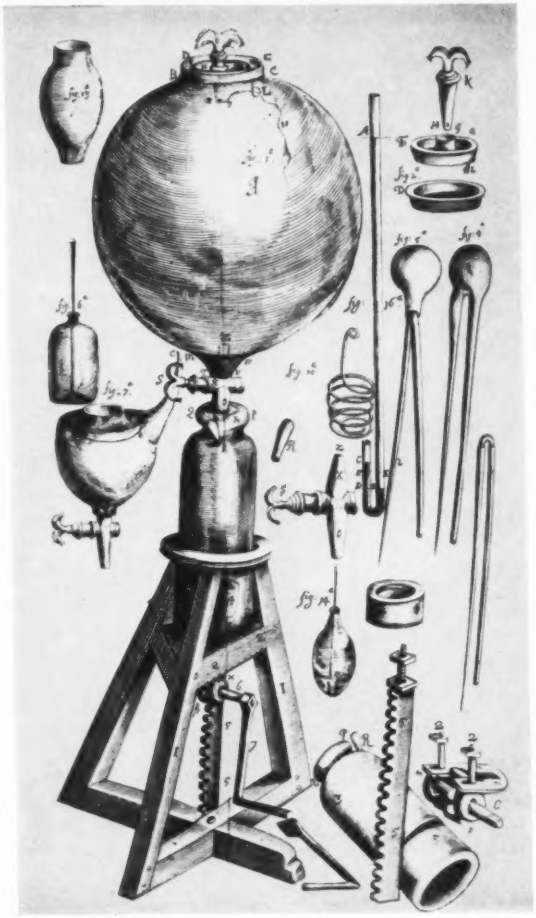


FIGURA 4 – *La primera bomba de Boyle, construida por Robert Hooke.*

cilindro hueco de latón de unos 8 cm de diámetro interno, en el que se movía un extractor, probablemente de madera, puesto que tenía clavado un disco de cuero para ajustarlo al cilindro. Sobre este extractor, movido por un engranaje de cremallera y piñón, se vertía aceite para facilitar el movimiento y conseguir un ajuste hermético, pero Boyle afirma que una mezcla — una emulsión diríamos nosotros — de aceite y agua era mejor. Un fuerte soporte de madera mantenía el cilindro verticalmente. El recipiente consistía en una bombona de vidrio, de unos 25 litros de capacidad, que era, según se dice, el tamaño máximo que los sopladores de vidrio podían lograr con el espesor requerido. Una gran ventaja era la abertura en la parte superior, a la que se pegaba un anillo de latón, adaptada para recibir un tapón muy

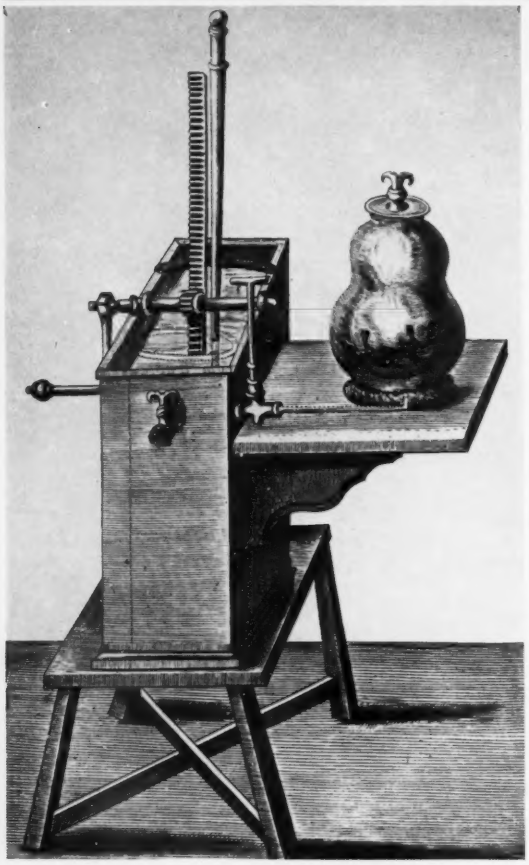


FIGURA 5 – *La segunda bomba de Boyle.*

ajustado que aparece en detalle en el ángulo superior derecho de la figura. El orificio pequeño en la parte inferior del tapón K era para suspender objetos dentro del recipiente. Este, muy bien logrado, facilitaba la realización de experimentos en el vacío. El que Guericke no lo adaptase pudo muy bien ser debido a la incapacidad de sus artífices para fabricarlo satisfactoriamente. En la parte inferior del recipiente se acoplaba un accesorio de latón, provisto de la llave S.

La parte superior del cilindro estaba perforada por un orificio, cerrado por una válvula-tapón muy bien ajustada de latón (R). El modo de operación era el siguiente: con la llave cerrada y el tapón retirado se movía el émbolo hasta la parte superior del cilindro, expeliendo el aire a través del orificio. Se cerraba entonces éste con el tapón, se retiraba el émbolo y se abría la llave de manera que parte del aire del recipiente pasaba al cilindro. Se cerraba después la llave, se abría la válvula retirando el tapón y se repetía el proceso. Este fue el método adoptado por Guericke en su último modelo, pero él añadió la válvula secundaria, que se abría por la presión del aire, durante los ciclos iniciales de extracción. La cremallera y piñón, el acceso fácil al recipiente y el diseño general y construcción, que hacían innecesario el uso de agua para sellar las juntas, hicieron que la máquina de Boyle fuera el mejor de todos los instrumentos.

En la Fig. 5 aparece la segunda bomba de Boyle, descrita por él en 1669. Su gran ventaja estribaba en que el recipiente era una campana pegada a una platina mediante una mezcla de cera de abejas y trementina, composición usada aún en la técnica neumática hasta bien entrado este siglo. Así podía retirarse la campana y reemplazarla fácilmente. La bomba consistía en un único cilindro sumergido en el baño de agua ilustrado. El émbolo estaba atravesado por un orificio, que podía abrirse y cerrarse por medio de un tapón colocado en el extremo de una larga varilla, que aparece sobresaliendo bastante por encima del agua. Puede verse la llave en la tubería que va a la campana.

Debe recordarse que Hooke, que construyó el primer modelo, dejó de estar al servicio de Boyle

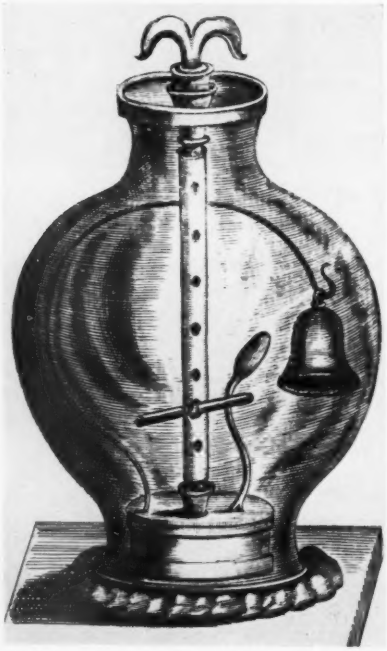


FIGURA 6 – *El aparato de Boyle para demostrar que el sonido no se propaga en el vacío.*

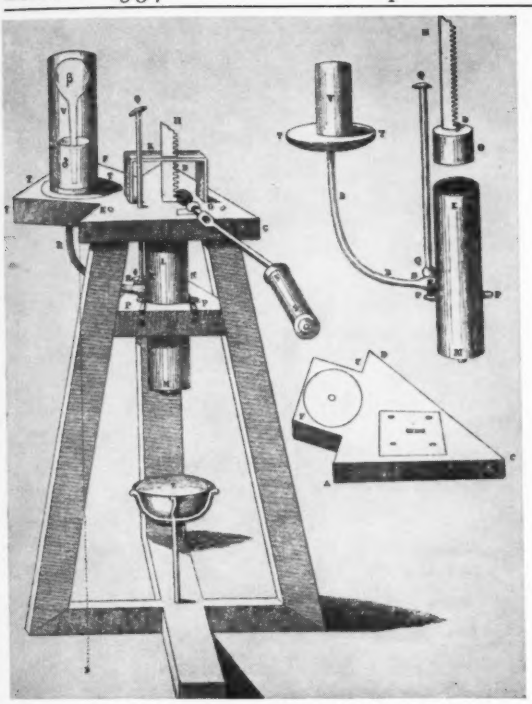


FIGURA 7 – *La bomba construida por Papin según los planos de Huygens.*

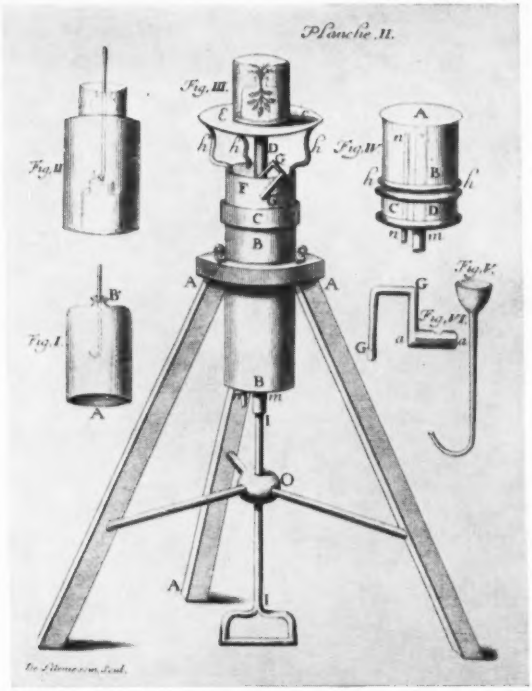


FIGURA 8 – *La bomba de Papin con la llave de doble conducto.*

en 1662 y probablemente no tuvo participación en la construcción del segundo. Quizá pueda atribuirse a esto el paso retrógrado de sumergir la bomba en agua; parece que, sin la habilidad de Hooke, no pudo asegurarse la hermeticidad del émbolo sin esta inmersión. El uso de agua es todavía más sorprendente puesto que en la descripción de su primera bomba, construida por Hooke, Boyle dice que quería un instrumento «en que no sea necesario, como en el otro (el de Guericke), mantenerlo dentro del agua (que en algunas ocasiones es un inconveniente) y que pueda manejársele más fácilmente». Este es uno de los primeros ejemplos de la influencia de la ejecución técnica sobre el diseño. Como ejemplo típico de las manipulaciones en vacío incluímos el mecanismo para tañer una campanilla dentro del recipiente (Fig. 6).

Denis Papin, un genio que, como Hooke en sus primeros tiempos, tuvo que ganarse a menudo la vida ayudando a otros más ricos, trabajaba en 1674 con Huygens. Este inventor holandés había visto la primera bomba de Boyle en Inglaterra, cuando estuvo allí en 1661, y a su regreso a Holanda, había construído, como sabemos por sus cartas, una bomba con arreglo al diseño de Boyle: tenía, sin embargo, la gran ventaja de poseer una platina sobre la que se montaba una campana para obtener el espacio experimental. Así pues se anticipó a Boyle en esta característica, aunque no publicó relación alguna de ella. Huygens, en París en aquella época, puso a Papin a construir una bomba de este modelo, que fue descrita en la primera publicación de Papin, *Nouvelles Expériences du Vuide*, 1674, y que aparece ilustrada en la Fig. 7. El émbolo se accionaba mediante una cremallera y piñón, como en la de Boyle. Una de las válvulas era un pequeño orificio en M, que se abría cuando el émbolo descendía para expulsar el aire, y se tapaba con el dedo cuando aquél ascendía, la conexión del cilindro con el recipiente estaba regulada por la llave en F, que estaba controlada por la manilla Q (detalle en la derecha de la Fig. 7). El émbolo se ajustaba herméticamente con estopa empapada en agua, vertiéndose después aceite desde arriba. El recipiente estaba colocado sobre una platina y existía también una vara de aforar. El conjunto estaba montado muy sólidamente.

Esta era otra versión de la bomba de Huygens: en la misma publicación, Papin describe un modelo mejorado, ilustrado en la Fig. 8, que es

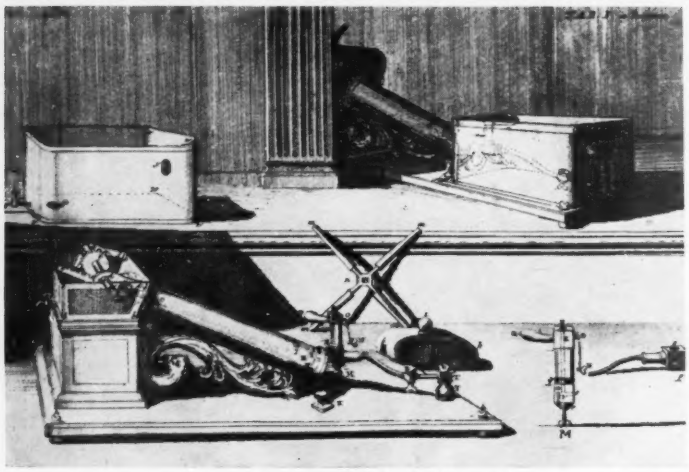


FIGURA 9 – *La bomba de Senguerd.*

creación suya. En éste se efectuaba el control de la abertura mediante una llave de dos conductos, mostrada en la *Fig.* VI, en la que uno de los canales era un orificio ordinario, para comunicar con el recipiente, y el otro una ranura, *aa*, para comunicar con el aire. Papin es pues el autor de la invención de la llave de dos conductos, que de ordinario es atribuida a Wolferd Senguerd, quien la utilizó en la bomba que describimos a continuación. La llave del instrumento de Papin tuvo que haber estado bien hecha, pues era innecesario cubrirla con agua. Otra característica era el estribo para aplicar la considerable fuerza necesaria para retirar el émbolo contra la presión atmosférica.

La bomba de Wolferd Senguerd, que fue muy utilizada en Europa, apareció ilustrada por vez primera en su *Philosophia Naturalis*, 1681, y de nuevo con más detalle en la segunda edición de este libro (1685), donde se la describe por completo en el prefacio *Ad Lectorem*. La Fig. 9 está tomada de la lámina de ese prefacio: más adelante en el libro, se encuentra una representación menos detallada. Casi todas las historias alemanas de física, a partir de J. C. Fischer (1802), afirman que, a pesar de que la bomba fue descrita por Senguerd en 1685, no fue construida hasta 1697, y citan como autoridad el *Rationis atque Experimentiae Connubium* de Senguerd de 1715[1]. Aquí, sin embargo, el autor dice «*atque ut mihi construeretur, Anno* 1679 *cum Artifice conveni*». La única explicación es que el primer historiador copió 1697 en vez de 1679, y los demás le copiaron a él.

En la bomba de Senguerd el cuerpo esta fijado en una posición oblicua y se utiliza una llave de dos conductos, mostrada por separado en la derecha de la Fig. 9, para alternar la conexión con el recipiente y con el aire. La descripción completa dice que, para impedir los escapes de aire, pueden sumergirse en agua la llave y la parte inferior de la máquina, como se muestra en la cabecera de la Fig. 9.

El famoso fabricante holandés de instrumentos Jan van Musschenbroek de Leyden construyó grandes cantidades de bombas del tipo Senguerd, de tal forma que se encuentran modelos en la

[1] Los eruditos alemanes se refieren a ésta como la tercera edición. En realidad se trata de la primera y única. En la portada, después de *Rationis atque Experimentiae Connubium*, con detalles del contenido y el nombre del autor, con sus títulos, aparece *Accedit Ejusdem, Disquisitio de Tarantula, Tertio Edita*. El *Tertio Edita* se refiere sólo a la disquisición sobre la tarántula, no al libro principal que es lo que estamos discutiendo aquí.

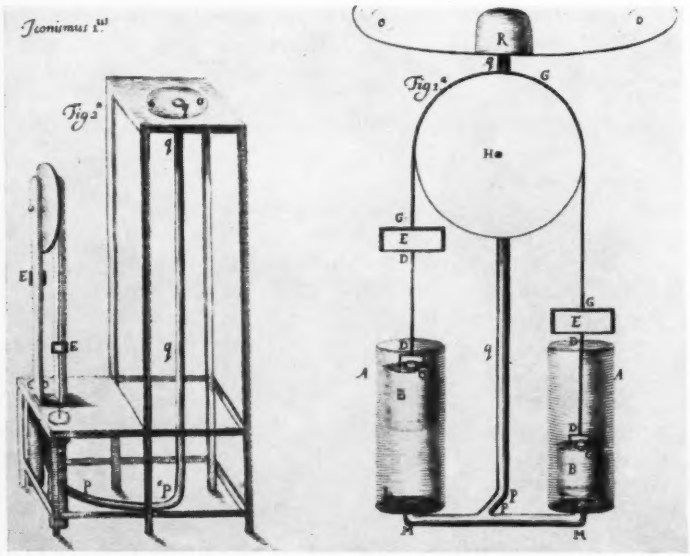


FIGURA 10 – *La bomba de dos cilindros descrita por Boyle en* A Continuation of New Experiments Physico-Mechanical, 1682.

mayoría de las colecciones de aparatos históricos. En 1675, Papin vino a Inglaterra y trabajó como ayudante de Boyle, quien en 1682 describió, con los reconocimientos debidos en el prefacio, la bomba, ilustrada en la Fig. 10, que Papin había traído consigo de Francia. La ventaja básica que poseía era el uso de dos cilindros, con los émbolos acoplados por una cuerda GGG que pasaba por una polea, de tal forma que la presión atmosférica sobre uno realizaba la mayor parte del trabajo requerido para levantar el otro: un ahorro considerable de esfuerzo.

La culminación de este tipo de construcción está representada por la bomba de Francis Hauksbee, descrita por él en sus *Physico-Mechanical Experiments* de 1709 e ilustrada en la Fig. 11. Un buen ejemplar de ella, que corresponde exactamente a la ilustración, se conserva todavía en la *Royal Society* de Londres como uno de sus tesoros. A semejanza de la última bomba de Papin, consta de dos cilindros, pero los émbolos están accionados por una cremallera y piñón. Las válvulas automáticas estaban hechas de «vejiga flexible». La colocación de un manómetro de columna de mercurio, visible inmediatamente debajo del centro de la base de la campana y la disposición de ésta son muy convenientes; la habilidad de su construcción es notable.

Las partes inferiores de los cilindros están atornilladas a una base de metal, haciéndose hermética la conexión por medio de arandelas de cuero sumergidas en agua, retenida por el plato *dd*. La junta entre la campana y la platina, sobre la que aquélla está montada, se hace hermética de un modo semejante con cuero húmedo. La presión no podía por tanto bajar de la de vapor del agua saturado a la temperatura ambiente: a 15°C esta presión es de unos 12 mm de mercurio; a 26°C es de 25 mm. Hauksbee registra en una ocasión una altura de 750 mm de mercurio, que se aproximaría en 10 mm al vacío absoluto si la altura barométrica hubiera sido la normal en aquellas circunstancias. Con motivo de una conferencia que el autor de este artículo pronunció en 1926 representando a Francis Hauksbee, el modelo de la *Royal Society* fue revisado con cuidado y puesto a punto, de acuerdo con las instrucciones dadas en el libro de Hauksbee y no con aceites modernos, por ejemplo. Se consiguió entonces regularmente un vacío a 25 mm del absoluto, que corresponde a la presión de vapor del agua.

Con una bomba semejante Hauksbee realizó los primeros experimentos sobre la descarga de electricidad en el vacío, tal como aparecen descritos en sus *Physico-Mechanical Experiments*, que, como se anuncia en la portada, contenían «una relación de varios fenómenos sorprendentes relacionados con la luz y la electricidad».

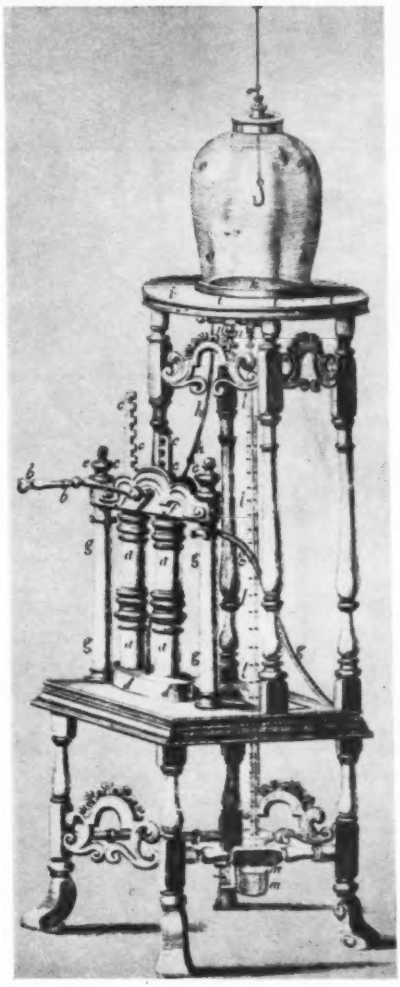


FIGURA 11 – *La bomba de Francis Hauksbee.*

Con el modelo de Hauksbee se estableció un tipo que apenas cambió hasta finales del siglo XIX, cuando Fleuss introdujo una bomba en la que todo el aire del espacio muerto se desplazaba por medio del aceite, siendo su ventaja principal el uso de aceite con una presión gaseosa muy baja. Las primeras bombas operadas a mano que conectaban periódicamente el recipiente con un vacío de Torricelli recién creado no aparecieron hasta 1862; la primera bomba rotatoria de mercurio fue inventada por Kaufmann en 1905 y desplazada muy pronto por la de Gaede.

Desarrollos recientes en los computadores electrónicos

J. M. M. PINKERTON

El uso de los computadores electrónicos se va haciendo cada día más común tanto en la investigación científica como en la industria y el comercio. La construcción y operación de las máquinas computadoras ha sufrido un marcado progreso desde que estos instrumentos fueran objeto de un estudio en ENDEAVOUR hace ocho años. El presente artículo reseña tales progresos y señala que un factor importante que dificulta la aplicación aún más amplia de los computadores es la escasez de operadores debidamente entrenados.

INTRODUCCION

A causa de la velocidad mucho más grande de operación y de la facilidad con que se pueden interconectar y ramificar los circuitos electrónicos, ha sido posible conseguir computadores de un orden de complejidad completamente diferente del obtenible mediante artificios mecánicos.

En los computadores electrónicos se pueden representar los números en forma binaria o en forma decimal: un número binario consiste en una serie de ceros y unos que representan la presencia o ausencia de las potencias sucesivas de dos. La mayoría de los computadores matemáticos han trabajado en este sistema a causa de la facilidad con que puede ser representado físicamente, *v.g.*: por dos orientaciones opuestas de magnetización de un anillo de óxido magnético [1]. Ciertos computadores proyectados para uso comercial han utilizado el sistema decimal, a menudo a base de emplear la representación binaria para cada dígito decimal aislado [2].

Un computador de gran velocidad debe retener en su memoria no sólo los números que aparecen en el cálculo, sino también instrucciones completas que regulen el curso del cálculo que va a realizarse. Si esto no fuera así no se podría utilizar su gran velocidad de operación, puesto que ningún operador humano podría dar mil o más instrucciones por segundo. Por consiguiente, en todas las máquinas modernas las instrucciones (en un código numérico conveniente) son retenidas en la misma memoria que los números. Esto permite un uso más amplio de la máquina, puesto que las partes de la memoria asignadas respectivamente a los números y a las instrucciones pueden variarse de acuerdo con las circunstancias. Como las instrucciones son númericas, pueden ser alteradas dentro de la máquina mediante simples operaciones aritméticas. Se puede disponer que un grupo de instrucciones haga variar, de acuerdo con las circunstancias, una instrucción particular que es llevada a cabo muchas veces. De esta forma, una docena de instrucciones puede reemplazar a cien quizá o más.

Una calculadora de mesa operada a mano no tiene corrientemente una memoria separada; se retienen los números y se efectúan las operaciones aritméticas en los mismos registros, que son pocos. En una máquina electrónica resulta impracticable realizar operaciones aritméticas en todos los registros de la memoria, de 500 a 2000 en total, y por lo tanto se incluye un órgano separado conocido como «unidad aritmética». Se toman los números de la memoria y se suman, restan, multiplican o dividen y se devuelven después a la memoria, todo ello en respuesta a las instrucciones del programa. Para asegurar que las instrucciones son ejecutadas en el orden preestablecido existen circuitos de control central. Estos varían mucho, pero incluyen siempre un registro de orden y un registro de instrucciones, un circuito de descodificación para reconocer la naturaleza de la instrucción sobre la que se está trabajando en aquel momento y circuitos de señalización para coordinar la actividad de las restantes partes de la máquina. La mayoría de las máquinas efectúan los «pasos» de la operación uno a uno y pueden ejecutar desde 100 a 10 000 o más por segundo [3].

Cuando se quieren dar nuevos datos o instrucciones a la máquina, primero debe hacerse a mano un registro en cinta impresa o en una cartulina, o en cinta magnética, para que la máquina los «lea» automáticamente. Esta «lectura» es una respuesta a ciertas instrucciones, como también lo es el imprimir o perforar los resultados. Estos, bien para ser leídos visualmente o bien para ser conservados para uso ulterior por el computador, han

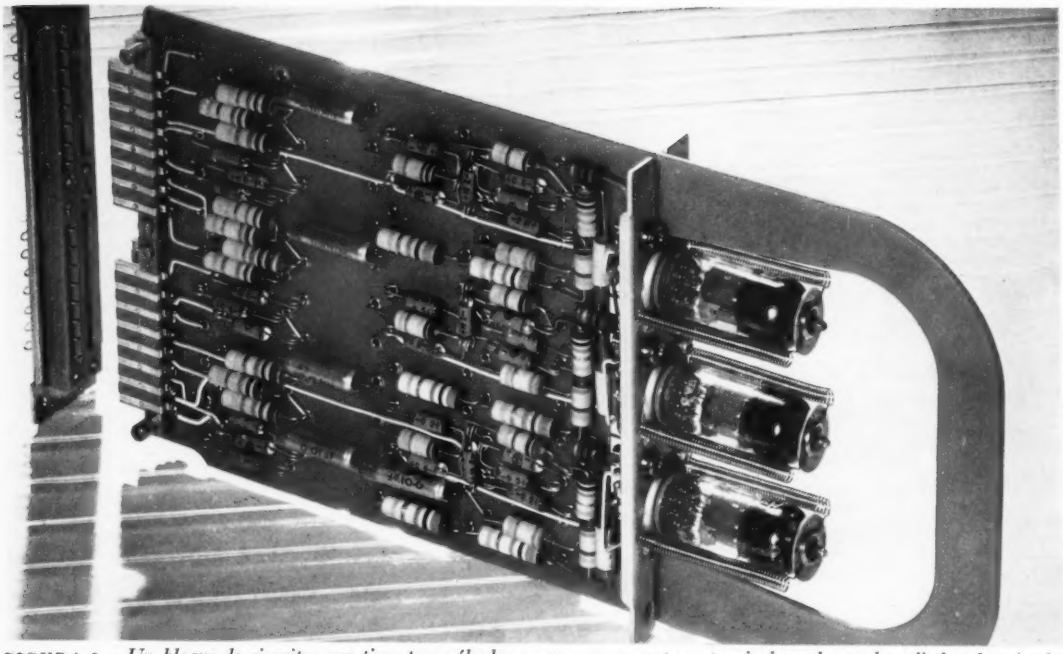
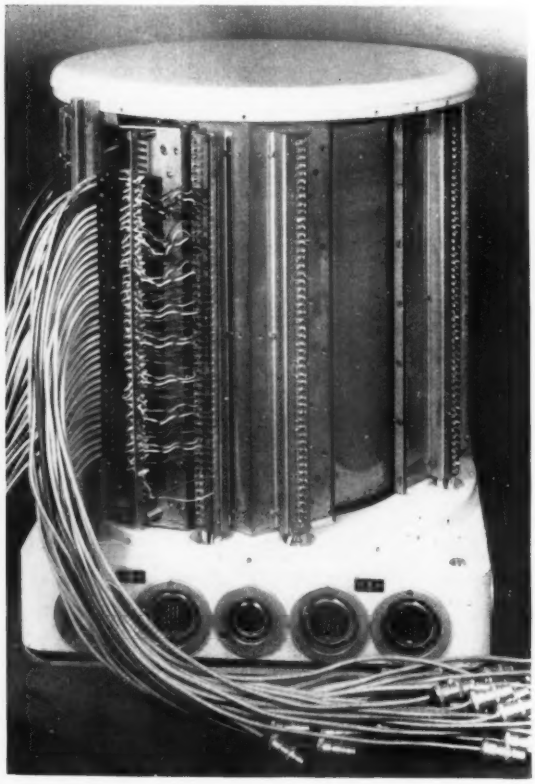


FIGURA 1 – *Un bloque de circuitos que tiene tres válvulas y numerosos componentes, incluyendo muchos diodos de cristales de germanio. Las clavijas del bloque se acoplan en la hembra de la izquierda. (Por cortesía de Ferranti Limited.)*



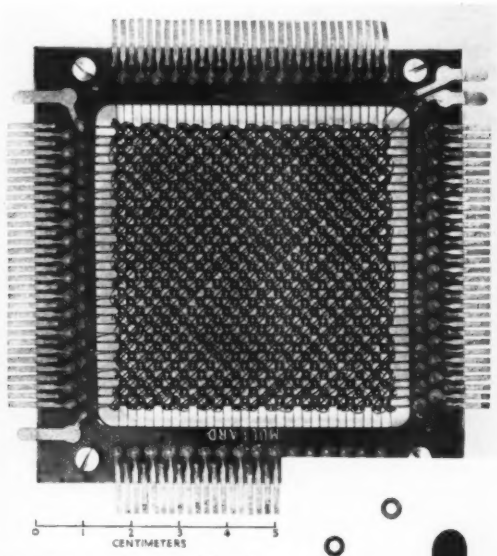


FIGURA 3 – *Una matriz de 32 × 32 núcleos, con una vista aumentada de un núcleo magnético (en detalle), comparado con una cabeza de cerilla. (Por cortesía de Mullard Limited.)*

FIGURA 2 (*izquierda*) – *Un tambor magnético. A la derecha se ve parte de la superficie magnética del tambor y a la izquierda algunas de las cabezas «lectoras» e «impresoras» con sus conexiones. (Por cortesía de Ferranti Limited.)*

de ser registrados por medios mecánicos bajo el control directo de éste. Se emplean comúnmente teletipos, máquinas de escribir automáticas, perforadoras para cartulina y tabuladores, y perforadoras especiales de gran velocidad para cinta de papel. También se emplean máquinas que registran en cinta magnética [15].

Puesto que las instrucciones de lectura y escritura implican ciertas operaciones mecánicas, tienden a necesitar mucho más tiempo que las instrucciones de cálculo. En máquinas matemáticas esto no constituye ningún impedimento, pero en las máquinas comerciales se emplean muchos más datos y resultados y por tanto se toman medidas especiales para evitar pérdidas de tiempo [7].

HISTORIA

Hace ocho años, D. R. Hartree [8] publicó un sumario de los desarrollos contemporáneos en los computadores y pudo mencionar la mayoría de los proyectos más importantes que entonces se estaban llevando a cabo. A causa del rápido avance efectuado esto sería ahora prácticamente imposible.

En el Reino Unido los desarrollos científicos más importantes han tenido lugar en las Universidades de Mánchester [4] y Cambridge [5, 31] y en el *National Physical Laboratory* en Teddington (Londres) [6]. En Mánchester, se construyeron varios computadores de los que han resultado una serie de prototipos comerciales. En Cambridge se ha insistido más en el empleo de la máquina: EDSAC I ha estado en uso desde 1949, y EDSAC II está a punto de ser acabada.

En los Estados Unidos ha habido un desarrollo en una escala prodigiosa en el campo científico y en el comercial. Se han llevado a cabo importantes proyectos de investigación sobre computadores en el *Bureau of Standards* en Wáshington y en Los Angeles [15], en el *Massachusetts Institute of Technology* [18] y en otros muchos centros. Las grandes compañías de máquinas calculadoras, han descollado en el desarrollo de máquinas para venta y alquiler [2, 17].

PROGRESOS TECNICOS

El enorme esfuerzo realizado en este campo en los últimos ocho años se ha orientado hacia el aumento de la velocidad de operación y de la exactitud, la mejora de la conservación y la facilidad y abaratamiento de la producción. Sin embargo, las características esenciales de una máquina permanecen tal como las describió Hartree [8].

La velocidad general de una máquina viene regida principalmente por el tiempo necesario para obtener una información determinada de la memoria. Cuanto más corto sea este tiempo más cara resulta la memoria; por consiguiente, para asegurar una eficiencia óptima, las máquinas con memorias «rápidas» están provistas generalmente de unidades aritméticas rápidas y, si va a utilizárselas con propósitos comerciales, con órganos de entrada y salida también rápidos.

Las máquinas más rápidas trabajan a 10 000 ó más pasos por segundo y ahora usan generalmente una memoria fundada en el núcleo magnético [1] ilustrado en la Fig. 1. Cada dígito binario almacenado requiere un núcleo para representar su valor 0 ó 1. Los núcleos, dispuestos en matrices, están entrelazados por cables en las direcciones X e Y; los circuitos de enlace están montados de tal forma que, sólo si se pasa simultaneamente una corriente a través de un núcleo en los cables X e Y, puede cambiarse su estado de magnetización e inducirse un impulso en el cable de lectura de salida (Fig. 4). Al leer se cambia la magnetización de los núcleos que están registrando un 1, pero los núcleos que están registrando un 0 permanecen inafectados, así que queda borrada cierta información seleccionada durante la lectura y es preciso introducir medios para reconstruirla.

Ciertas máquinas de velocidad media, que efectúan de 700 a 2000 pasos por segundo, han usado la línea de retraso ultrasónica de mercurio, como por ejemplo EDSAC 1; o la memoria de tubo de Williams, como la máquina de la universidad de Mánchester. Se está generalizando otro tipo de línea de retraso [9] que utiliza el efecto magnetostrictivo, y una máquina, NICHOLAS, lo ha

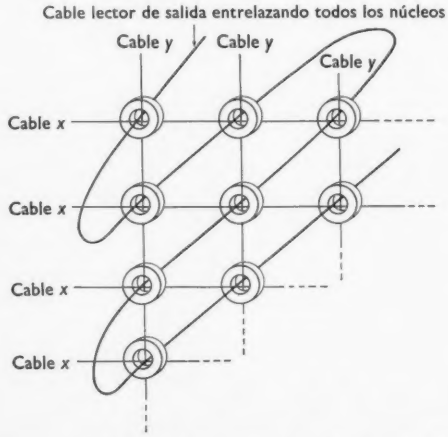


FIGURA 4 – *Esquema de una matriz de núcleos magnéticos.*

utilizado para su memoria principal [10]. En ésta se transmite un impulso acústico de unos dos o tres microsegundos de duración a lo largo de un cable o cinta de níquel mediante el paso de una corriente por una bobina pequeña cerca de uno de los extremos. En el otro extremo el efecto magnetostrictivo contrario induce una f.e.m. pequeña en una bobina semejante.

En máquinas más lentas, particularmente en las utilizadas en el comercio se usa mucho un tambor magnético [19] como memoria principal. En los últimos modelos se le utiliza como memoria de reserva junto con una pequeña memoria rápida que emplea núcleos o líneas de retraso. Se transfiere un conjunto completo de órdenes desde el tambor hasta la memoria rápida, y se le reemplaza por otro después de que se han ejecutado todas las órdenes del primer conjunto.

Las posibilidades aritméticas se han extendido no tanto porque se haya hecho a la máquina capaz de realizar otras operaciones además de sumar, restar, multiplicar, dividir y desplazar como por haber aumentado la flexibilidad y facilidad con que efectúa esas operaciones. Muchas máquinas ejecutan ahora la llamada aritmética de «coma decimal variable». En ella un número n es representado mediante dos componentes a y b, donde $n = a \times 10^b$ (ó $n = a \times 2^b$ en el sistema binario en que trabajan la mayoría de las máquinas). Después de cada paso aritmético se ajusta automáticamente la parte a, desplazando circuitos en la máquina, para que esté entre $+1$ y -1. La parte b es calculada para que ajuste y puede variar entre $+99$ y -99 por ejemplo; los números registrados en la máquina varían pues entre 10^{99} y 10^{-99}. En un sistema tal, la velocidad de la luz (299 793 km/s) se convierte automáticamente en $0{,}299793 \times 10^6$, esto es: $a = 0{,}299793$ y $b = +6$. Este sistema permite cálculos extensos sin pérdida de precisión, incluso cuando no se puede conocer de antemano la posición de la coma decimal.

Los sistemas de entrada y salida por los que la máquina comunica (por así decirlo) con el mundo exterior, han experimentado un desarrollo notable. No sólo se han ideado órganos lectores [20] e impresores especialmente rápidos, sino que se han refinado mucho los circuitos que los conectan al computador. Se han utilizado canales múltiples para los datos y resultados, especialmente en máquinas proyectadas con fines comerciales [7]. La construcción mecánica de computadores ha sido estudiada cuidadosamente; la tendencia actual es montar los circuitos electrónicos en forma de bloques que se conectan como una unidad separada [16] (Fig. 1).

TECNICA DE OPERACION

Se reconoce ahora que la cuestión más importante, y también la más difícil, es decidir si un determinado cálculo puede ser resuelto o no por un computador, y, si es así, cómo se va a organizar. Una vez decidido esto con todo detalle, se distribuyen generalmente las diferentes etapas en un diagrama de tiempos de duración y se sigue después con la codificación del programa. La primera parte de este proceso [13] exige un conocimiento matemático completo del problema; la segunda parte, aunque es penosa y ha de ser ejecutada con precisión, puede ser confiada a personas convenientemente entrenadas, aunque no posean una instrucción matemática avanzada. Tal como se redactan, los programas están raramente libres de faltas, y parte del tiempo de operación de todas las máquinas se dedica a probar los programas [21]. Evidentemente, la razón entre el tiempo de preparación y el tiempo de cálculo suele ser muy grande, a menudo mayor que 100 : 1. Así pues un problema de un tipo que ha de ser resuelto solamente una vez puede que no resulte económico atacarlo con un computador.

En cálculos matemáticos y comerciales es de importancia vital la posibilidad de detectar resultados equivocados, aunque esto no es tan difícil como parece. La experiencia muestra que, a menudo, aunque no invariablemente, cuando una máquina se equivoca aparecen resultados absurdos o bien se detiene. Corrientemente se introducen comprobaciones matemáticas en el programa, de tal forma que si los datos han sido registrados y suministrados correctamente a la máquina, es muy improbable que pasen sin ser detectados los errores de cálculo. En trabajos de oficina pueden utilizarse los procedimientos corrientes de contabilidad para obtener una comprobación absoluta de la exactitud del trabajo [11].

Las cifras publicadas muestran que la mayoría de las máquinas alcanzan alrededor de un 90–95% de seguridad.

Los métodos de conservación están mejorando constantemente; los métodos preventivos de comprobación marginal, mediante los que se detecta la deterioración gradual de las válvulas y demás componentes antes de que causen errores de cálculo son muy efectivos y están ahora en uso general [14]. El localizar las averías que ocurren a causa de un fallo repentino o intermitente de

alguna parte, generalmente en una válvula, requiere una mente analítica combinada con un conocimiento detallado del funcionamiento de la máquina. La escasez de ingenieros con la competencia necesaria será probablemente la causa principal de limitación del número de máquinas que entrarán en servicio en los años próximos.

PROGRAMACION

La programación es el arte de distribuir convenientemente un problema para un cálculo automático y después codificarlo para la máquina en forma de una serie de simples operaciones aritméticas. La primera parte de este proceso exige una gran habilidad, ya que requiere que el trabajo sea dividido en diferentes etapas, cada una de las cuales corresponde a una sección separada del programa de instrucciones: p.e. hallar el valor de sen x, o e^x para una x dada. Para tales etapas, puede hacerse uso de secuencias — tipo de instrucciones, conocidas como «sub-rutinas», ligadas mediante conjuntos de instrucciones convenientes especialmente escritas. Se han desarrollado técnicas [22] en la EDSAC, para simplificar la formulación de programas, haciendo que las diferentes etapas se codifiquen independientemente, esto es haciéndolas autoconsistentes sólo en sí mismas. En este caso, las «sub-rutinas interpretativas» hacen que el computador, cuando toma las etapas separadas, las modifique convenientemente para formar un todo coordinado. Este proceso puede llevarse muy lejos, dotando virtualmente a la máquina de una nueva serie de posibilidades aritméticas, constituída cada una de ellas, por supuesto, de una serie de operaciones más simples, pero llamadas a actuar por una instrucción que, cuando es interpretada, hace que la máquina utilice la sub-rutina requerida. El desarrollo en esa dirección parece estar limitado únicamente por el ingenio del programador.

No pueden redactarse programas a menos que la máquina esté dotada de un poder limitado de elección entre dos rutas distintas en un programa. Por tanto, todos los computadores poseen unas instrucciones especiales condicionales que causan un salto en el proceso ordenado del programa únicamente si se satisface determinado criterio aritmético, que puede ser un signo en el registro acumulador. De este modo puede regularse la máquina para que repita una secuencia de instrucciones para evaluar los términos sucesivos de una serie, hasta que no existan ya más términos significativos. En ese momento la máquina prescinde de esa rutina, suma los términos significativos y continúa con la parte siguiente de su tarea.

La mayor parte de las máquinas tienen ahora registros especiales para permitir que las instrucciones se modifiquen automáticamente y para facilitar la cuenta del número de veces que se lleva a cabo una sub-rutina. Esta característica permite, por ejemplo, la obtención de la suma de n números sin tener que utilizar un valioso espacio almacenador que contenga n instrucciones de «suma». Este sistema se utilizó por vez primera en la máquina de la Universidad de Mánchester [4]. Además de las rutinas puramente computadoras de un programa, se requieren otras rutinas para entrada de programas, entrada de datos y salida de resultados. Estas últimas, particularmente, son con frecuencia bastante complejas, puesto que hay que ordenar al impresor que registre los resultados en el papel: p.e., en cristalografía de rayos X [23] se ha inventado una rutina de salida para hacer que la máquina dibuje directamente una proyección de Patterson.

APLICACIONES DE LOS COMPUTADORES

Se han utilizado computadores para resolver una gran variedad de problemas científicos y técnicos [24, 25], para comprobar, en una escala limitada, problemas matemáticos de la teoría de los números [12], y para efectuar los cálculos ordinarios en el comercio. La lista de aplicaciones es tan numerosa que sólo pueden ser mencionadas algunas.

La EDSAC ha sido utilizada con éxito [23] para calcular síntesis de Fourier de dos y tres dimensiones a partir de los datos cristalográficos obtenidos mediante rayos X, y para obtener el signo de los coeficientes de Fourier [26]. Se han hallado soluciones numéricas de ecuaciones en derivadas parciales [25] y se han preparado tablas matemáticas de funciones [13]. Se han resuelto problemas ópticos de trayectorias de rayos a través de lentes compuestas [27]. Se han llevado a cabo experimentos para determinar si puede utilizarse un computador en la predicción del clima. Mediante un computador se han evaluado cartas de predicción de prueba, utilizando el modelo de atmósfera de Sawyer-Bushby [28]. Los resultados para períodos de 12 y 24 horas fueron alentadores, aunque surgieron dificultades al tratar las condiciones en los límites del área que cubría las Islas Británicas y el Atlántico Norte hasta el litoral de los Estados Unidos.

Se han resuelto correctamente muchos problemas que no hubieran podido serlo mediante cálculos ordinarios, no sólo a causa del trabajo

que suponen, sino también debido a la posibilidad de un error que invalide el cálculo entero.

Puede citarse como ejemplo el cálculo de las coordenadas de los cinco planetas exteriores a intervalos de 40 días durante el período de 1653 a 2060. Esto fue realizado conjuntamente por el U.S. Naval Observatory de Wáshington, el Observatorio de la Universidad de Yale y la I.B.M. Corporation, utilizando el Calculador de Series Selectivas (Selective Sequence Calculator) [29]. Las atracciones mutuas de los cinco planetas y del Sol fueron expresadas mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales simultáneas no lineales de orden 30, que fueron resueltas con una precisión de 14 decimales. Las coordenadas obtenidas representan correctamente, dentro del error probable, las observaciones durante un período de 150 años y son más seguras que las obtenidas a partir de las Tablas de Hill.

Recientemente se ha utilizado un computador para controlar una máquina fresadora tomando los datos de un plano y enviando instrucciones mediante una cinta perforada. Esta cinta es «leída» y controla, en tres dimensiones, los movimientos de la cuchilla, mediante servo-mecanismos muy precisos. Puede utilizarse la misma cinta muchas veces, y un único computador puede facilmente suministrar cintas de control para muchas máquinas [30].

Se puede encargar a un computador de operaciones de tipo comercial o de oficina, con tal que sean de carácter repetitivo, de tal manera que todas puedan ser especificadas exactamente de antemano. No obstante es innecesario que todas las etapas sean ejecutadas de la misma forma cada vez que se lleve a cabo la rutina. En el cálculo de salarios, por ejemplo, un obrero puede haber trabajado normalmente, otro haber estado enfermo, otro de vacaciones, etc.; todas estas variaciones son tratadas por secciones apropiadas del programa y las instrucciones que no tienen aplicación son retiradas mediante un cortocircuito. La destreza en tratar la amplia variedad de circunstancias de cada día es lo que hace que un computador sea tan valioso en una oficina. El que sea económico que una máquina haga el trabajo de oficina depende de si existe el suficiente trabajo cotidiano para justificar el coste inicial de la máquina y la molestia y el coste de replanear el trabajo del computador. En Inglaterra durante más de dos años ha estado en servicio regular diario un computador grande, LEO, que deriva de la EDSAC de Cambridge, en las oficinas de una gran empresa del ramo alimenticio [7, 11].

REFERENCIAS

[1] RAJCHMAN, J. A. *RCA Review*, **13**, 183, 1952.

[2] WEINER, J. R. *Trans. I.R.E. Prof. Group Electronic Computers*, **1**, 33, 1952.

[3] BOWDEN, B. V. (Compilador). «Faster than Thought», Cap. 3. Sir Isaac Pitman and Sons, Londres. 1953.

[4] *Ibid.*, Cap. 6.

[5] *Ibid.*, Cap. 7.

[6] *Ibid.*, Cap. 8.

[7] PINKERTON, J. M. M. y KAYE, E. J. *Electronic Engng*, **26**, 284, 1954.

[8] HARTREE, D. R. *Endeavour*, **8**, 65, 1949.

[9] BRADBURD, E. M. *Elec. Commun.*, **28**, 46, 1951.

[10] HILL, N. D. Automatic Digital Computation (Proceedings of National Physical Laboratory Symposium, 1953), pág. 46. Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1954.

[11] THOMSON, T. R. *Ibid.*, pág. 85.

[12] MILLER, J. C. P. *Ibid.*, pág. 160.

[13] HARTREE, D. R. «Numerical Analysis». Clarendon Press, Oxford. 1952.

[14] TAYLOR, N. H. *Proc. Inst. Radio Engrs*, **38**, 1418, 1950.

[15] Computer development at the National Bureau of Standards, N.B.S. Circular No. 551, Wáshington. 1955.

[16] LEINER, A. L., ALEXANDER, S. N. y WITT, R. P. *Ibid.*, pág. 55.

[17] BUCHOLZ, W. *Proc. Inst. Radio Engrs*, **41**, 1262, 1953.

[18] EVERETT, R. R. *Elec. Engng*, **71**, 681, 1952.

[19] WILLIAMS, F. C., KILBURN, T. y THOMAS, G. E. *Proc. Instn Elect. Engrs, Pt.* II, **99**, 94, 1952.

[20] WELBY, B. G. *Electronics*, **26**, 115, 1953.

[21] GILL, S. *Proc. roy. Soc., A*, **206**, 538, 1951.

[22] WILKES, M. V., WHEELER, D. J. y GILL, S. «The Preparation of Programmes for an Electronic Digital Computer». Addison-Wesley Press, Cambridge, Mass. 1951.

[23] BENNETT, J. M. y KENDREW, J. C. *Acta Cryst.*, **5**, 109, 1952.

[24] BROOKER, R. A. *Brit. J. appl. Phys.*, **4**, 321, 1953.

[25] SHELDON, J. y THOMAS, L. H. *J. appl. Phys.*, **24**, 235, 1953.

[26] COCHRAN, I. W. y DOUGLAS, A. S. *Proc. roy. Soc., A*, **227**, 486, 1955.

[27] BLACK, G. *Proc. phys. Soc., B*, **67**, 569, 1954.

[28] BUSHBY, F. H. y HINDS, M. K. *Quart. J. roy. Meteorol. Soc.*, **80**, 165, 1954.

[29] *Astr. Pap., Wash.*, **12**, 1951.
CLEMENCE, G. M. y BROUWER, D. *Astr. J.*, **60**, 118, 1955.

[30] *Electronic Engng*, **28**, 204, 1956.

[31] WILKES, M. V. «Automatic Digital Computers». Methuen, Londres. 1956.

Auroras polares y tropicales

JAMES PATON

No es sabido, generalmente, que las auroras, fenómeno típico de latitudes elevadas, ocurren también, a veces, en latitudes bajas e incluso cerca del ecuador. Se necesita urgentemente un mayor conocimiento de estas manifestaciones en latitudes bajas para aumentar nuestra comprensión de las auroras polares, y su observación es parte importante en el programa del próximo Año Geofísico Internacional. ENDEAVOUR aprovecha la oportunidad de prestar su apoyo a la llamada, contenida en este estudio de los fenómenos aurorales, en demanda de informes fidedignos acerca de su ocurrencia en bajas latitudes durante el Año Geofísico.

La atmósfera superior emite continuamente una débil luz sobre toda la Tierra, pero esta luminosidad del aire es generalmente imperceptible para el ojo, incluso en una noche sin luna. Sin embargo hay una casi continua emisión de luz mucho más intensa, fácilmente visible durante las horas de obscuridad, en dos zonas en torno a la Tierra a unos 23° de los polos magnéticos norte y sur respectivamente. Es la aurora: aurora boreal en el hemisferio norte y austral en el sur. Durante la época del máximo de manchas solares, la aurora puede extenderse lejos de sus zonas normales, por espacio de muchas horas y llega a ser visible sobre una gran zona del globo que a veces abarca desde los polos hasta casi el ecuador. Cuando la luminosidad rebasa el umbral de percepción cromática, los observadores contemplan un mágico espectáculo de diversos colores celestes que laten con una magnificencia indescriptible.

La aurora se debe a la entrada en la alta atmósfera de un haz de partículas con carga, iones y electrones, procedentes del Sol. La desviación electromagnética debida al campo magnético terrestre, hace que el haz de partículas incida sobre zonas limitadas de la Tierra, que dependen de la velocidad, composición y dirección de incidencia del haz. La luz de la aurora es emitida principalmente por los gases atmosféricos irradiados y a veces también por los protones del haz incidente que capturan un electrón.

Puesto que la aurora es visible en cada noche clara en las zonas aurorales norte y sur, parece que un chorro de corpúsculos de origen solar, llega constantemente a la Tierra con velocidad e intensidad tales que limitan su precipitación a tales zonas. Además de originar las auroras, el haz corpuscular procedente del Sol, aumenta la ionización durante su paso por la alta atmósfera y motiva cambios en la ionosfera. Estos, a su vez, producen cambios en los sistemas de corrientes de la alta atmósfera, que se manifiestan por medio de perturbaciones en el campo magnético terrestre. Por ello no es sorprendente que ocurran normalmente las mayores intensidades de perturbación magnética cerca de la latitud geomagnética 67°, o sea en las zonas aurorales.

La gran aurora que es ampliamente visible sobre la Tierra, sucede generalmente a la ocurrencia de un enorme estallido o erupción en el centro del disco solar. Esta observación proporciona, en efecto, la primera prueba convincente del origen solar de la aurora. La sucesión de hechos en la Tierra que acompañan y siguen a la erupción son: casi a la vez que ocurre ésta, se aprecia una debilitación en las ondas cortas de radio y un bucle magnético, esto es, una pequeña pero súbita perturbación en el campo terrestre. Estos efectos, que se limitan a la parte de la Tierra iluminada por el Sol, son causados sin duda por la intensa ionización en la atmósfera superior originada por el destello de luz ultravioleta procedente de la erupción; este destello tarda escasamente ocho minutos en llegar a la Tierra. Sin embargo, hasta unas 24 horas después no ocurre una extensa aurora y gran perturbación magnética, tan enérgica como para merecer el nombre de «tempestad magnética». El retraso en ocurrir este último fenómeno se explica más fácilmente en el supuesto de ser causado cuando el chorro de partículas materiales proyectadas por el Sol en el momento de la erupción, entra en la alta atmósfera después de hacer el recorrido hasta la Tierra en 24 horas; según este razonamiento, la velocidad de las partículas sería del orden de 1500 km/s. Puesto que las erupciones están íntimamente asociadas con las manchas solares, la aparición de auroras en regiones alejadas de las zonas aurorales como, por ejemplo, el norte de Inglaterra (55–60° N) sigue el ciclo de once años de las manchas solares.

Sin embargo, durante los años de mínimo de

FIGURA 1 – *Zona de rayos transformándose en cortina.*

FIGURA 2 – *Rayos a través de la luminosidad en el horizonte.*

FIGURA 3 – *Una corona.*

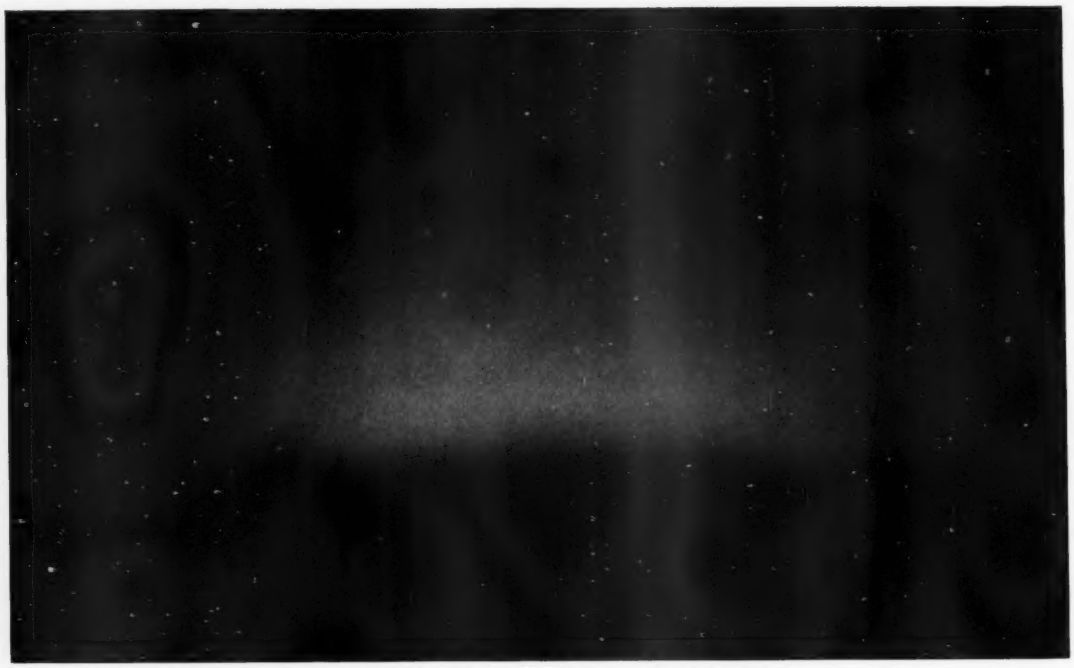


FIGURA 4 – *Porción superior de un arco inmóvil y difuso.*

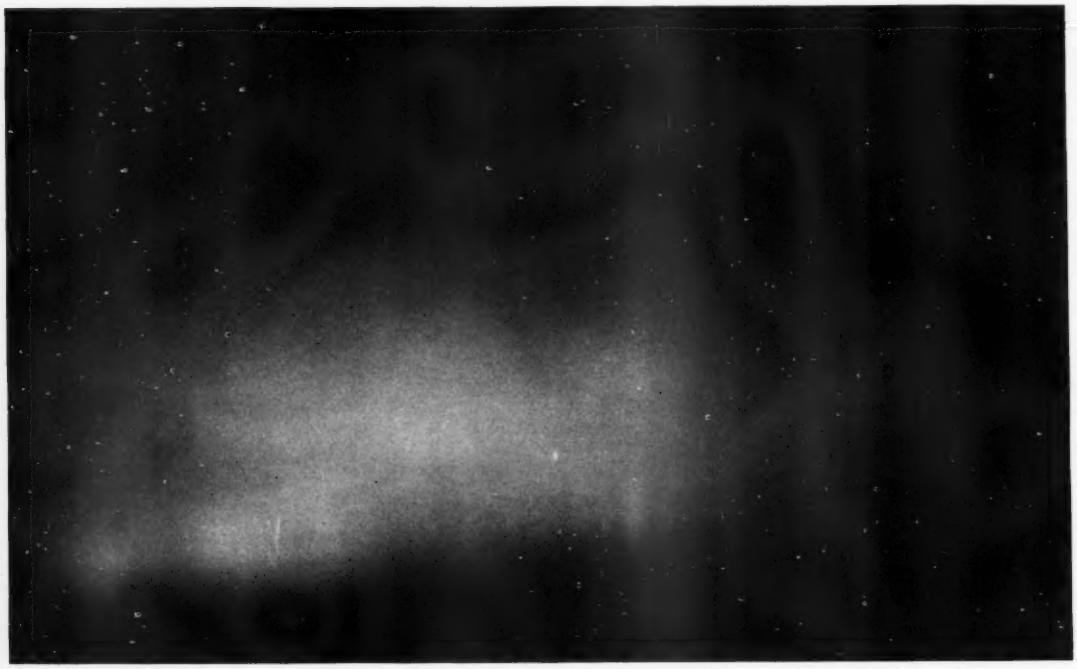


FIGURA 5 – *El arco difuso de la Fig.* 4 *se resuelve en rayos.*

manchas solares, se siguen viendo frecuentemente auroras incluso tan lejos de las zonas aurorales como es el norte de Inglaterra. Esas auroras reaparecen con intervalos de 27 días, y se supone son causadas por un haz de partículas que sigue saliendo durante largo tiempo, en cierto modo como un chorro de agua de una manga, de una cierta zona del Sol: ésta ha sido llamada región-M por J. Bartels. Como el período de rotación solar, observado desde la Tierra, es de unos 27 días, tal chorro puede ir cayendo sobre la tierra con dicha periodicidad, motivando la aparición de auroras recurrentes en regiones a unos 10° de las zonas aurorales.

El comportamiento en el campo magnético terrestre de un haz solar compuesto por iones y electrones pero exteriormente neutro (*Vid.* pag. 46), acercándose y barriendo la Tierra, ha sido estudiado teóricamente [1, 2]. El problema es de gran dificultad y se ha avanzado poco hacia una teoría satisfactoria de la aurora, aunque [1] haya dado una explicación aceptable de los primeros estadios de una tormenta magnética. Aunque se cree generalmente que la emisión de luz en la aurora procede principalmente de la excitación e ionización de los átomos y moléculas atmosféricos directamente por las partículas primarias del haz solar, o por electrones secundarios lanzados durante su paso a través de la atmósfera, [2] considera la aurora como una descarga en gas que puede transportar corriente entre cargas espaciales, asociada con el chorro a gran distancia de la Tierra, y con la ionosfera.

Las auroras son visibles unas diez noches al año como término medio en el sur de Inglaterra, norte de Francia y de Alemania, y lugares al norte de los Estados Unidos. Generalmente se manifiestan en estos lugares simplemente como una luminosidad a lo largo del horizonte norte, con gran parecido al crepúsculo (Fig. 2). Su nombre de aurora boreal, el amanecer del norte, se debe a su aspecto a los observadores de esas regiones. Esta denominación no es exacta en las grandes manifestaciones, cuando la luminosidad sube por el cielo formando un arco regular y duradero (Fig. 4); después el arco aumenta súbitamente su brillo y se resuelve en una serie de bandas estriadas e irregulares (Fig. 5) cuyos pliegues le dan un aspecto de gigantescas cortinas ondulantes en el espacio (Fig. 1). Cuando las bandas o haces se extienden por el cénit desde la cortina hasta el horizonte sur, parece, por un efecto de perspectiva, que convergen en el punto del cielo hacia el que apunta el polo sur de una brújula de inclinación. Las bandas son por tanto paralelas y coinciden con las líneas de fuerza del campo terrestre. Esta forma de aurora, la más notable, se llama corona (Fig. 3). Cuando la aparición culmina y comienza a retroceder hacia el norte suele haber mucho flameo y surgen hacia el cénit haces luminosos procedentes del horizonte.

La investigación del espectro de la aurora es importante no sólo por la información que puede proporcionar relativa al origen de la aurora sino también porque supone un medio para determinar la composición y propiedades de la atmósfera a las alturas en las que se produce la luz de la aurora. Las dificultades experimentales son enormes puesto que la luminosidad intrínseca es pequeña y los tipos más brillantes de aurora están de ordinario en rápido movimiento. Además, el gran intervalo de tiempo entre colisiones sucesivas de átomos y moléculas en la atmósfera superior origina emisiones relacionadas con transiciones en pugna con las reglas de selección, las llamadas emisiones prohibidas, que no pueden ser obtenidas con facilidad en los laboratorios. Por tanto es a veces difícil identificar el origen de las líneas espectrales, y las rayas mismas pueden también algunas veces estar enmascaradas por sistemas de bandas superpuestas. Se han identificado líneas de oxígeno y de nitrógeno atómicos, ionizados y neutros, y sistemas de bandas de oxígeno y de nitrógeno moleculares ionizados y neutros. Los procesos que causan las diversas emisiones son numerosos y han sido estudiados recientemente [3].

El uso moderno de espectrógrafos con mucha luminosidad y gran poder de resolución, que proporcionan espectros convenientes con pequeños tiempos de exposición, han permitido el análisis de las características espectrales de las manifestaciones aurorales de corta duración. Así han sido identificadas las líneas emitidas por elementos presentes en el haz solar incidente que origina la aurora. Las líneas de Balmer del hidrógeno fueron identificadas por Vegard primero y confirmadas por Gartlein. La medida [4] del efecto Doppler en la línea Hα en el espectro de un arco próximo al cénit indicó que los protones tienen en el haz solar incidente velocidades del orden de 3300 km/s. Puesto que su emisión luminosa puede ocurrir solamente cuando el protón ha sido frenado lo suficiente para capturar un electrón, la velocidad con la que los protones penetran en la alta atmósfera debe ser considerablemente mayor que la determinada por el corrimiento de Doppler. La emisión de la línea Hα se ve desaparecer cuando el arco estable se resuelve en estrías, de

modo que los protones no intervienen aparentemente en la formación de éstas.

Debemos mucho de nuestro conocimiento de las características generales de las auroras a los grandes trabajos de C. Störmer y sus colegas en Noruega. Störmer sintió atracción por el estudio de estas cuestiones al comienzo del siglo asistiendo a un espectacular experimento realizado por su colega Kristian Birkeland. Intentando reproducir la aurora en el laboratorio, Birkeland sometió una esfera magnetizada que simulaba la Tierra, a un chorro de rayos catódicos en un gran tubo de descarga. Las incidencias de los rayos sobre la esfera se hacian visibles por la fluorescencia de un barniz, y mediante los ajustes convenientes podía lograrse que tomaran la forma de espirales bien definidas en torno a cada polo. Esta reproducción experimental, tan similar en apariencia a la aurora sugirió a Störmer [5] la dedicación al trabajo arduo y dificultoso de calcular numéricamente las trayectorias de un electrón que se moviera en el campo de un dipolo y conseguir así explicar algunas de las formas adoptadas por las auroras. La objeción a la hipótesis de un chorro de partículas, todas con cargas del mismo signo, es que la repulsión electrostática entre ellas las dispersaría mucho antes de llegar a la Tierra. Por tal razón, las teorías más modernas se basan en un haz solar eléctricamente neutro, formado por iones y por electrones.

Cuando Störmer comenzó su trabajo teórico, no se disponía de información precisa acerca de la altura y disposición en el espacio de las diferentes formas aurorales. Por ello ideó un método fotográfico ingenioso [5] para hacer tales determinaciones, necesarias para la comprobación de la teoría. Con cámaras ideadas especialmente, se fotografían a la vez desde dos o más estaciones separadas entre treinta y algunos centenares de km, las mismas apariciones aurorales. La altura y la posición se determinan midiendo el desplazamiento paraláctico con referencia al fondo estelar de los puntos de la aurora correspondientes en cada par de fotografías. Con éste método Störmer halló que las auroras más brillantes están situadas generalmente a alturas próximas a los 100 km, aunque en ocasiones pueden bajar hasta 70 km. Encontró que cerca de los crepúsculos matutino y vespertino, los rayos pueden llegar a alturas enormes, alcanzando incluso los 1000 km.

El estudio fotográfico de la aurora se limita a los períodos de obscuridad cuando el cielo está despejado. Pero no hay apenas duda de que las auroras ocurren tanto de día como de noche, puesto que la tormenta magnética que acompaña a la aurora por la noche continúa durante el día. Los métodos de ecos de radio que se están perfeccionando todavía, pueden proporcionar un medio para el estudio continuo del fenómeno, sin la interrupción causada por las nubes, luz lunar, crepuscular o diurna. Durante el Año Polar 1932–33 se probó [6] que la aurora va acompañada de un aumento en la ionización por bajo de la capa E, de tal magnitud que en dichas ocasiones es imposible la investigación de las condiciones ionosféricas con los métodos habituales de análisis usando frecuencias en las bandas de 1–20 Mc/s, debido a la gran atenuación producida. Sin embargo, se encontró después que podían obtenerse ecos durante la actividad auroral, utilizando frecuencias más elevadas. En 1947 se registraron reflexiones [7], sobre una frecuencia de 46 Mc/s, que parecían proceder de una nube luminiscente al extremo de un rayo. Desde entonces se han hecho observaciones similares en Escandinavia y América del Norte. Todavía es incierta la interpretación del origen de los ecos. Ciertos investigadores [8] hallan que no existe correspondencia entre las llegadas de los ecos y la posición de las manifestaciones aurorales, y sugieren que no son realmente ecos en la aurora sino solamente retrodifusión producida en la superficie terrestre, yendo hacia adelante el tren de radiaciones sondeadoras al reflejarse en la Capa E anormal, y retrocediendo según un trayecto similar. Pero la mayor parte de las observaciones indican que los ecos se producen o por dispersión en columnas de ionización asociadas con los rayos de la aurora o por reflexión total en densas nubes iónicas isotrópicas [9].

LA AURORA EN EL AÑO GEOFÍSICO

El 1° de julio de 1957, geofísicos de todo el mundo comenzarán observaciones, según un plan concertado internacionalmente, para el estudio de la Tierra y su atmósfera [10]. Se han preparado minuciosos planes para estudiar en todo el mundo la aurora mediante todas las técnicas disponibles. Este trabajo, naturalmente, se concentrará en regiones aurorales y sus proximidades, pero como el Año Geofísico Internacional (A.G.I.) ha sido elegido expresamente en coincidencia con el período de máxima actividad de las manchas solares, durante él, serán seguramente visibles las auroras en bajas latitudes, incluso quizá cerca del ecuador. Aunque hay algunas observaciones concretas de auroras en regiones tropicales — se ha visto, por ejemplo, en Singapur, latitud 1° N, el

25 de septiembre de 1909 —, el Prof. S. Chapman, coordinador del programa de observación de auroras, no ha encontrado observaciones convenientes de las características de una aurora tropical, tras buscar en todos los registros disponibles. Ha subrayado la importancia de conseguir tales informaciones durante el A.G.I., señalando que quedarán incompletos los estudios intensivos emprendidos en y cerca de las zonas aurorales, si faltan detalles de las auroras que penetren hasta latitudes bajas [11]. Es por ello importante despertar el interés de todos los observadores de las regiones tropicales y subtropicales — y no exclusivamente de aquéllos realmente incluidos en el programa del A.G.I. — hacia el fenómeno y persuadirles del hecho de que pueden proporcionar información muy valiosa, con una simple observación visual anotando precisamente la forma de cualquier luminosidad anómala que puedan apreciar en el cielo nocturno.

Durante el A.G.I. se mantendrá una observación continua de la superficie solar en los observatorios a ello dedicados, y se enviará un aviso desde un Centro de Predicción Mundial, cuando la actividad solar indique que una gran aurora es más probable que de ordinario. Se pretende que los avisos sean inmediatamente repartidos entre todos los interesados en las investigaciones de auroras y afines, y también se anunciarán para ser difundidos en las emisiones de radio por todo el mundo. Se espera que los observadores en latitudes bajas procurarán buscar la aurora en la noche y harán un informe precisamente cronometrado de su desarrollo cuando comience a ser visible. Las tripulaciones de aviones en vuelo por regiones tropicales se hallan en condiciones muy favorables respecto a la observación del cielo, puesto que es menos probable que les estorben las nubes y pueden ver auroras más distantes que los observadores en tierra. Aunque en la mayor parte de los casos la expectación por la aurora puede ser infructuosa, la probabilidad de presenciar un espectáculo poco frecuente es suficientemente grande para justificar la cuidadosa observación. Como la probabilidad de ver la aurora es mayor cuanto más proximo se halle el punto de observación al polo magnético, la observación será mas fructífera en América Central, por ejemplo, que en el sur de la India, y más en Perú que en el norte de Australia.

Aunque es importantísima la vigilancia de las auroras tropicales durante el A.G.I., al mismo tiempo que se observan en todo el mundo todos los fenómenos geofísicos, es muy de desear que continúen las observaciones aurorales durante un año o dos después, debido a que las experiencias anteriores muestran que los efectos de interacción solar-terrestre tienden a aumentar en los años posteriores al máximo de manchas solares.

Se agradecerá toda ayuda en la búsqueda de los archivos oficiales, de la prensa, diarios de a bordo, y cartas particulares con referencias de anteriores auroras tropicales.

Las fechas de las doce mayores tormentas magnéticas archivadas en Greenwich entre 1874 y 1954 son: 1882, 17 y 20 noviembre; 1903, 31 octubre; 1909, 25 septiembre; 1921, 13 mayo; 1938, 25 enero, 16 abril; 1940, 24 marzo; 1941, 1 marzo, 18 septiembre; 1946, 28 marzo, 21 septiembre. Como es muy probable que estas grandes tormentas hayan sido acompañadas por auroras muy extendidas, es también probable que sea fructífero el estudio de documentos relativos al momento de su ocurrencia. También serían valiosos más detalles acerca de las auroras tropicales de 1859 (28 agosto a 2 septiembre) y 1872 (4 febrero).

Las observaciones detalladas de las auroras en bajas latitudes, unidas a otras informaciones acumuladas durante el A.G.I. pueden permitir por vez primera componer cuadros sinópticos mundiales que muestren los estadios sucesivos en la formación y desvanecimiento de una gran aurora.

Los informes acerca de auroras tropicales y cualquier pregunta relativa a la observación de auroras, deberán ser enviadas al autor de este artículo (Mr. J. Paton, Department of Natural Philosophy, The University, Edinburgh, Escocia), que es Miembro de la Sección de Aurora y Luminosidad del Aire, de la Comisión Nacional Británica para el A.G.I.

REFERENCIAS

[1] CHAPMAN, S. y BARTELS, J. «Geomagnetism». Clarendon Press, Oxford. 1940.

[2] ALFVÉN, H. «Cosmical Electrodynamics». *Ibid.*, 1950.

[3] BATES, D. R. *Ann. Géophys.*, **11**, 3, 1955.

[4] MEINEL, A. B. *Astrophys. J.*, **113**, 50, 1951.

[5] STÖRMER, C. «The Polar Aurora». Clarendon Press, Oxford. 1955.

[6] APPLETON, E. V., NAISMITH, R. y BUILDER, G. *Phil. Trans., A*, **236**, 191, 1937.

[7] LOVELL, A. C. B., CLEGG, J. A. y ELLYET, C. D. *Nature, Lond.*, **160**, 372, 1947.

[8] HARANG, L. y LANDMARK, B. *J. atmos. terr. Phys.*, **4**, 322, 1954.

[9] BOOKER, H. G. *Ibid.*, **8**, 204, 1956.

[10] *Endeavour*, **14**, 59, 1955.

[11] CHAPMAN, S. The aurora in middle and low latitudes. Capítulo del Manual de Auroras del A.G.I. (En prensa.)

La estructura de la insulina

F. SANGER y L. F. SMITH

No es preciso subrayar la importancia biológica de las proteínas pues desempeñan una notable variedad de papeles. Algunas, tales como el colágeno y la queratina, son estructurales; otras como la actomiosina y la hemoglobina desempeñan funciones químicas específicas. La hormona insulina, que está relacionada con la regulación del metabolismo de la glucosa y es usada contra la diabetes, es una proteína de importancia excepcional. La reciente aclaración de su estructura es un acontecimiento químico de primer orden.

La mayor parte de la energía del cuerpo se deriva de la descomposición de la glucosa, y es esencial que la concentración de ésta en la sangre permanezca relativamente constante. Si es demasiado baja se producen convulsiones y *shocks*, mientras que si es demasiado alta puede sobrevenir el coma. Es pues necesario para el cuerpo tener un medio de control del contenido de glucosa en la sangre, siendo la insulina uno de los principales factores. Es producida por los cuerpos de Langerhans, grupos de células situados en el páncreas. Cuando el nivel de glucosa en la sangre es alto, estas células son estimuladas, la insulina se segrega en la sangre y se transporta a través del cuerpo, donde cataliza la desaparición de glucosa. En la diabetes, el funcionamiento de los cuerpos de Langerhans queda debilitado y no se segrega suficiente insulina para que permanezca bastante baja la glucosa en la sangre, apareciendo entonces los síntomas característicos de la enfermedad. Pueden ser mitigados por inyección de insulina, la cual se prepara en gran escala a partir del páncreas del ganado vacuno.

Cualquiera que sea la función fisiológica de un compuesto determinado debe depender, naturalmente, de la exacta estructura química de la sustancia; por esto no es sorprendente que se hayan hecho tantos esfuerzos para el estudio de la química de las proteínas, puesto que representan tan notable diversidad de papeles biológicos. El progreso en este campo ha sido, sin embargo, muy lento, debido al gran tamaño y complejidad de las moléculas de las proteínas. Solamente ha sido posible escribir la fórmula química completa de una proteína: la insulina.

Se han dedicado muchos esfuerzos a la determinación del peso molecular de las proteínas. En general se ha encontrado que son moléculas grandes, con peso molecular que varía entre 5000 y varios millones. La insulina es una de las más pequeñas con un peso molecular de 5733 [1, 2].

Los componentes fundamentales que forman el edificio de las proteínas son los aminoácidos, los cuales tienen la fórmula general

$$R.CH(NH_2)COOH.$$

En la mayor parte de las proteínas aparecen, corrientemente veintiuno de estos ácidos, que difieren en la naturaleza del grupo R: figuran en la Tabla 1. La insulina contiene todos, excepto metionina, triptofano y cisteína. Los restos aminoácidos están enlazados en las proteínas por formación de amida o enlaces peptídicos entre el grupo α-carboxílico de un resto y el grupo α-amino de otro. De esta manera se forman largas cadenas de polipéptidos cuya estructura general es:

$$NH_2\overset{\overset{R}{|}}{C}H.CO\left[-NH.\overset{\overset{R}{|}}{C}H.CO-\right]_n NH.\overset{\overset{R}{|}}{C}H.COOH.$$

Cuando una proteína es hidrolizada con ácidos fuertes, se rompen los enlaces peptídicos y se obtiene una mezcla de los aminoácidos que la componen: por adecuados procedimientos analíticos se puede determinar el número de restos de cada uno. En la Tabla 1 están anotados los valores para la insulina. De esta forma fue posible escribir una fórmula empírica, teniendo en cuenta el contenido de aminoácidos; el próximo problema consistió en encontrar cómo estaban acoplados en la molécula los restos de aminoácidos.

En la fórmula de una cadena de polipéptido dada más arriba, podemos distinguir dos tipos de restos. La mayor parte de los aminoácidos están presentes en la forma —NH.CHR.CO—, con sus grupos amino y carboxilo bloqueados. A la izquierda de la fórmula queda un resto con un grupo α-amino libre ($NH_2CHR.CO$—). Esto se conoce como resto N-terminal, y haciendo uso de adecuadas reacciones químicas es posible identificar y valorar tales restos. En el otro extremo de

TABLA I

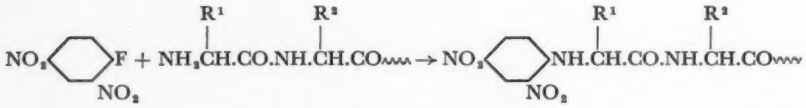
Aminoácidos naturales comunes

Aminoácidos	*Estructura del grupo R*	*Abreviatura usada para el resto —NH—CH(R)—CO—*	*Número de restos en la insulina*
Alifáticos			
Glicina	—H	Gli	4
Alanina	$—CH_3$	Ala	3
Valina	$—CH(CH_3)_2$	Val	5
Leucina	$—CH_2—CH(CH_3)_2$	Leu	6
Isoleucina	$—CH(CH_3)—CH_2—CH_3$	Ileu	1
Serina	$—CH_2—OH$	Ser	3
Treonina	$—CH(OH)—CH_3$	Tre	1
Aromáticos			
Fenilalanina	$—CH_2—C_6H_5$	Fen	3
Tirosina	$—CH_2—C_6H_4—OH$	Tir	4
Triptofano	$—CH_2—C_8H_6N$ (H)	Tri	0
Acidos			
Acido aspártico	$—CH_2—COOH$	Asp	0
Acido glutámico	$—CH_2—CH_2—COOH$	Glu	4
Amidas			
Asparaguina	$—CH_2—CONH_2$	$AspNH_2$	3
Glutamida	$—CH_2—CH_2—CONH_2$	$GluNH_2$	3
Bases			
Lisina	$—CH_2—CH_2—CH_2—CH_2—NH_2$	Lis	1
Arginina	$—CH_2—CH_2—CH_2—NH—C(=NH)—NH_2$	Arg	1
Histidina	$—CH_2—C_3H_2N_2$ (H)	His	2
Conteniendo S			
Cisteina	$—CH_2—SH$	CiSH	0
Cistina	$—CH_2—S—S—CH_2—$	CiS—CiS	3
Metionina	$—CH_2—CH_2—S—CH_3$	Met	0
Cíclicos			
Prolina	$H_2C—CH_2$* / H_2C CH—COOH (N H)	Pro	1

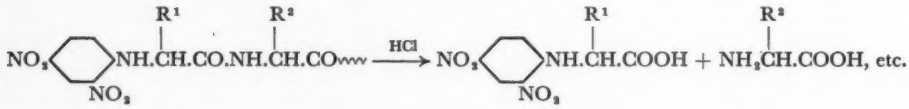
* Estructura completa del aminoácido.

la cadena se encuentra el resto C-terminal que tiene un grupo α-carboxilo libre. El estudio de estos restos terminales ha adquirido considerable importancia en la química de las proteínas, ya que no solamente es posible localizar de esta manera la posición de ciertos restos en la cadena sino que también se obtiene información sobre la estructura general de las proteínas y sirve para la caracterización de una proteína y como prueba de pureza [3–5]. Como cada cadena abierta de polipéptido tiene un resto N-terminal y otro C-terminal, la determinación de éstos puede servir para establecer el número de cadenas presentes, siempre que no haya cadenas cíclicas o ramificadas.

Como ataque inicial a la molécula de la insulina, se ha desarrollado un método para la identificación y determinación de restos N-terminales [6]. El 1-fluoro-2:4-dinitrobenceno (FDNB) reacciona con los grupos amino de los péptidos y proteínas para dar compuestos dinitrofenílicos (DNF):

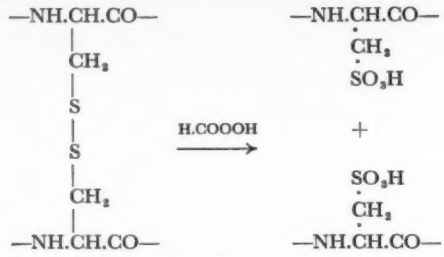


Al realizarse la hidrólisis ácida, este nuevo enlace es en general más estable que los enlaces peptídicos y así se obtienen aminoácidos y los derivados DNF del resto N-terminal:



Los aminoácidos DNF amarillos pueden ser aislados e identificados por cromatografía con columnas de silica-gel o en papel de filtro. Por este método se encontró que la glicina y fenilalanina ocupan posiciones N-terminales en la insulina, lo que sugiere que hay por lo menos, dos cadenas de polipéptidos en la molécula: una que tiene el resto glicina N-terminal y la otra el resto fenilalanina.

La insulina contiene tres restos de cistina, y como puede verse en su estructura (Fig. 1) este aminoácido es capaz de engarzar dos cadenas de polipéptidos por medio de un puente disulfuro. Para romper este engarce disulfuro la insulina fue oxidada con ácido perfórmico que convierte un resto cistina en dos restos de ácido cisteico (abreviado $CiSO_3H$)



Después de este tratamiento se pueden aislar dos fracciones: una ácida, que tiene solamente glicina N-terminal (fracción A), la otra básica que tiene solamente fenilalanina N-terminal (fracción B) [7]. Comprobaciones ulteriores demostraron que cada fracción era homogénea y que la cadena A tenía 21 restos aminoácidos, de los cuales cuatro eran ácido cisteico, y la cadena B, 30 restos, de los cuales dos de ácido cisteico. Así, la molécula de la insulina quedó cortada en las dos cadenas de polipéptidos que la forman; esto simplificó el próximo problema, que era determinar la secuencia completa de aminoácidos en las dos cadenas.

La base del método utilizado se puede describir de la siguiente manera: si tenemos un dipéptido, la composición de aminoácidos puede ser determinada después de la hidrólisis completa de una muestra. Supongamos que da dos aminoácidos A y B. Otra muestra es tratada con FDNB y determinado el aminoácido N-terminal. Si éste es A, entonces la estructura del dipéptido debe ser A.B.

Este razonamiento puede extenderse para dar la estructura de péptidos más grandes mediante una primera hidrólisis parcial que produzca una serie de dipéptidos cuya estructura pueda ser comprobada; la estructura de un péptido grande puede ser deducida de ellos. Así un péptido A.B.C.D., puede producir por hidrólisis parcial los dipéptidos A.B, B.C, y C.D, de los cuales se puede deducir una única secuencia para el tetrapéptido. Si un determinado resto aparece más de una vez en un péptido, no puede ser deducida la estructura completa a partir de los dipéptidos y es necesario obtener algunos péptidos mayores.

Esta fue la base del método aplicado para aclarar la secuencia de los aminoácidos en las cadenas A y B de la insulina. La dificultad con polipéptidos grandes de esta naturaleza fue de orden técnico para aislar los péptidos de un hidrolizado parcial, pues el procedimiento expuesto anteriormente es válido cuando se trabaja con péptidos puros. Así, un polipéptido lineal de treinta restos, tal como la fracción B, daría 29 dipéptidos, 28 tripéptidos, 27 tetrapéptidos, etc. Actualmente es posible reducir este número de dos maneras. Si el polipéptido se hidroliza con ácido, la hidrólisis es continuada por un tiempo suficiente para asegurar que la mayor parte de los péptidos grandes queden rotos y que la mezcla contiene solamente pequeños péptidos y aminoácidos libres. Otro método es la hidrólisis con enzimas proteolíticas. De esta manera se rompen solamente los enlaces adyacentes de ciertos aminoácidos. Por ejemplo la tripsina, una enzima pancreática, solamente puede hidrolizar enlaces peptídicos, formados por los grupos carboxilo de la lisina o de la arginina. Así un péptido Gli.Glu. Arg.Gli.Fen, que daría cuatro dipéptidos, tres tripéptidos y dos tetrapéptidos por hidrólisis ácida, daría solamente dos péptidos — Gli.Glu.Arg y Gli.Fen — después del tratamiento con tripsina. Aun con estos dos métodos de hidrólisis parcial, el fraccionamiento de los péptidos producidos era todavía un gran problema y solamente se pudo llegar al fraccionamiento de tales mezclas complejas después de la introducción de la cromatografía con papel [8, 3, 9]. Este demostró ser el método más útil en este trabajo, especialmente para los pequeños péptidos producidos por hidrólisis ácida. Con los péptidos grandes, las mejores separaciones fueron generalmente obtenidas por electroforesis sobre papel [10, 11, 13]. El intercambio iónico y la adsorción cromatográfica han sido también utilizados para los fraccionamientos preliminares de las mezclas.

Podemos mostrar como ejemplo cómo se dedujo parte de la secuencia de la cadena B. El ácido aspártico aparece una sola vez en la cadena y por eso algún péptido que contenga ácido aspártico debe formar parte de una secuencia simple. En un hidrolizado ácido parcial se encontraron dos dipéptidos: Val.Asp y Asp.Glu, dando la secuencia Val.Asp.Glu. Esto quedó confirmado por la identificación de un tripéptido Val. (Asp,Glu). (La inclusión de los restos entre corchetes en la fórmula para los péptidos indica que su orden relativo es desconocido). Otro tripéptido Fen.(Asp, Val) extiende la secuencia a Fen.Val.Asp.Glu y un pentapéptido Fen. (Asp,Glu,His,Val) sugirió que el resto que acompaña a la glutamina era histidina.

De los pequeños péptidos producidos por hidrólisis ácida parcial se dedujeron muchas secuencias, pero no fue posible por este método determinar la secuencia completa de la cadena B; por ejemplo, no se encontró ningún péptido que contuviese serina en el cual no ocupara la serina la posición N-terminal. Esto sugirió que el enlace peptídico formado por el grupo amino de la serina era muy lábil y se rompía siempre bajo las condiciones del experimento, haciendo imposible determinar qué aminoácido precedía a la serina. Con objeto de completar la secuencia fue necesario estudiar los péptidos grandes producidos por hidrólisis enzimática y de esta manera quedó determinada [12, 13] la estructura de las dos cadenas A y B (Fig. 1). Los grupos —NH_2 indican la presencia de los restos amido asparaguina y glutamina. Por hidrólisis ácida estos restos se rompen, dando amoníaco y los ácidos aspártico y glutámico respectivamente. Sin embargo, quedan intactos durante la hidrólisis enzimática y pueden ser localizados de esta manera [14].

El problema final era demostrar cuál de las dos mitades de los restos de cistina estaban unidas en la molécula intacta de la insulina. Para esto fue necesario aislar los péptidos que contienen restos de cistina y determinar su estructura. El método puede resumirse de la manera siguiente:

1. Hidrólisis parcial de la insulina en condiciones bajo las que las uniones disulfuro queden intactas.
2. Fraccionamiento de los péptidos de cistina uno por uno.

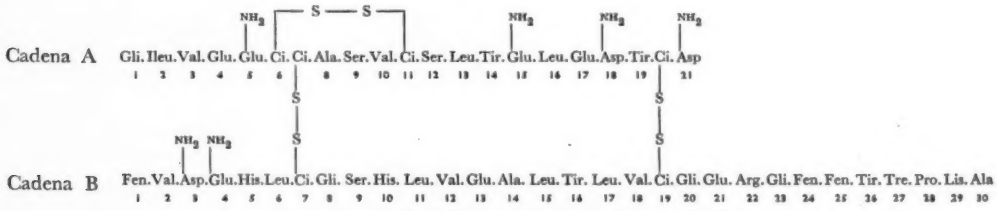


FIGURA 1 – *Estructura de la insulina de ganado vacuno.*

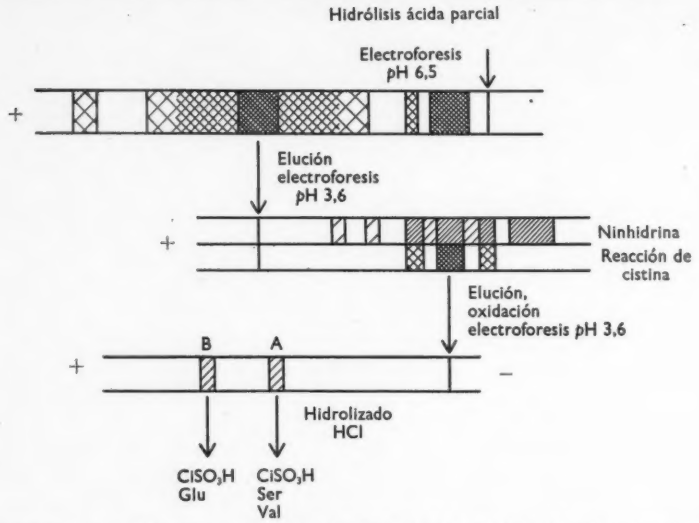
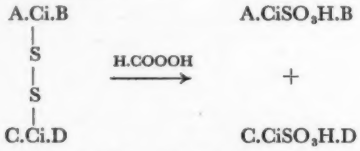


FIGURA 2 – *Diagrama mostrando el método de aislamiento e identificación de un péptido de cistina en la insulina.*

3. Oxidación de los péptidos de cistina a péptidos de ácido cisteico, *v.g.*



4. Identificación de los péptidos de ácido cisteico por los aminoácidos producidos en su hidrólisis. Estos péptidos habían sido ya obtenidos a partir de hidrolizados parciales de las cadenas A y B, y por esto sus estructuras y posiciones en las cadenas eran conocidas. De esto se dedujo la estructura del péptido de cistina original y la posición de la unión disulfuro en la molécula de insulina.

Surgió, sin embargo, una dificultad inesperada y fue que cuando se obtenían los péptidos a partir de un hidrolizado ácido parcial, no se podía deducir una estructura única; toda mitad de resto de cistina parecía estar unida con cada uno de los restos mitad de la cistina que quedaba. Esto era claramente imposible y sugirió que tenía lugar durante la hidrólisis alguna forma de reacoplamiento:

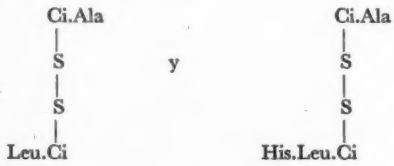
$$R^1\text{—S—S—}R^2 + R^3\text{—S—S—}R^4 \rightarrow R^1\text{—S—S—}R^3 + R^2\text{—S—S—}R^4, \text{ etc.}$$

de manera que se habían formado nuevos péptidos de cistina que no eran verdaderos fragmentos de insulina.

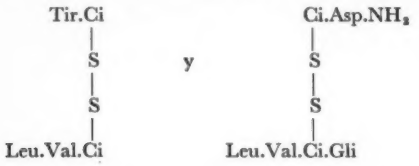
Esta reacción fue estudiada con algún detalle [15] y se descubrió que podía ser inhibida por adición de pequeñas cantidades de compuestos tiólicos, de manera que las condiciones de trabajo fueron orientadas hacia el aislamiento de péptidos de cistina que representaran fragmentos de la insulina original. En la Fig. 2 está resumido el método de aislamiento e identificación de un péptido típico que dió la posición de un enlace disulfuro.

La insulina fue primero hidrolizada con ácido en condiciones especiales para evitar el reacoplamiento de los enlaces disulfuro. La mezcla de péptidos fue entonces fraccionada por electroforesis sobre papel y dió un número de bandas. Estas, sin embargo, no estaban todavía suficientemente resueltas y fueron eluídas del papel y sometidas a una segunda electroforesis a diferente *p*H. La posición de los péptidos fue hallada utilizando como reactivo la ninhidrina, que reacciona con todos los péptidos, y también usando un reactivo específico para los péptidos de cistina. De esta manera se obtuvo un péptido de cistina puro que fue oxidado y dió dos péptidos de ácido cisteico A y B. Estos fueron separados por electroforesis y cada uno de ellos sometido a hidrólisis completa. A partir de la composición de sus aminoácidos fueron reconocidos como péptidos Ser.Val. $CiSO_3H$ (posiciones A9–11) y Glu.$CiSO_3H$ (posiciones A5–6) respectivamente. De manera que el péptido original de cistina era:

estableciendo así la presencia de un puente disulfuro entre los restos mitad de cistina entre las posiciones A6 y A11. Péptidos tales como



establecieron la posición de la segundo enlace disulfuro entre las posiciones A7 y B7. Los péptidos



confirmaron el que quedaba (A20 a B19). Estos enlaces aparecen en la Fig. 1 que da la estructura completa de la insulina del ganado vacuno [2, 16].

La estructura que muestra la Fig. 1 corresponde a una sustancia que tiene una característica y única actividad fisiológica y suscita el problema de la relación entre la composición de la insulina y su actividad. ¿ Es esencial el total de la molécula o depende la actividad de un centro activo compuesto de un limitado número de restos de aminoácidos? Los estudios de insulinas modificadas químicamente indican que lo último es más probable puesto que ciertos grupos, tales como los grupos amino, pueden ser bloqueados sin pérdida de actividad. Los puentes disulfuro representan probablemente un importante papel, puesto que al romperse se produce inmediata pérdida de actividad. Es de particular interés el puente interno que une las posiciones 6 y 11 en la cadena A, puesto que un puente de la misma condición se encuentra en otras dos hormonas, la oxitocina y la vasopresina, producidas por el lóbulo posterior de la glándula pituitaria.

Un enfoque del problema de determinar las causas de la actividad de la insulina es estudiar las de diferentes animales. Todas las insulinas muestran la misma actividad, así que puede concluirse que cualquier diferencia encontrada dependería de partes de la molécula que no tienen importancia fisiológica. Se han estudiado las insulinas de carnero, cerdo, caballo y ballena [17] encontrándose que tienen composiciones de aminoácidos ligeramente diferentes de la del ganado vacuno, pero las diferencias se limitan a las posiciones de los restos de cistina dentro de cada cadena. Las distintas secuencias se encuentran en la Tabla 2. Lo que queda de la cadena A y el total de la cadena B son idénticos en las cinco especies. Esto sugiere que la estructura exacta de los restos en las posiciones A8–11 no es importante para la actividad biológica pero no es necesario pensar que todo el resto de la molécula sea esencial.

TABLA II

La secuencia de aminoácidos en posiciones A7–10 de insulinas de varias especies.

Ganado vacuno ..	$CiSO_3H$.Ala.Ser.Val
Cerdo	$CiSO_3H$.Tre.Ser.Ileu
Carnero	$CiSO_3H$.Ala.Gli.Val
Caballo..	$CiSO_3H$.Tre.Gli.Ileu
Ballena	$CiSO_3H$.Tre.Ser.Ileu

Puesto que ésta fue la primera proteína cuyas secuencias de aminoácidos han sido completamente determinadas, resultaba interesante ver si había algún esquema general que apoye la secuencia que resulte ser el principio general de la química de las proteínas. Parece, sin embargo, que no existe tal esquema. No aparecen restos individuales a intervalos regulares a lo largo de las cadenas. No hay ni pequeñas unidades que se repitan ni concentraciones dignas de observación de tipos similares de aminoácidos en ninguna parte de la molécula.

Un resultado significativo de este trabajo es demostrar que la insulina, y probablemente otras proteínas, son sustancias homogéneas con estructuras y no meramente polímeros estadísticamente fortuitos de aminoácidos.

REFERENCIAS

[1] Harfenist, E. J. y Craig, L. C. *J. Amer. chem. Soc.*, **74**, 3087, 1952.
[2] Sanger, F. *Bull. Soc. Chim. biol.*, **37**, 23, 1955.
[3] Turba, F. «Hoppe-Seyler/Thierfelder, Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse», 10ª edición, **3**, 1648, 1955.
[4] Desnuelle, P. «The Proteins» compilado por H. Neurath y K. Bailey, Academic Press, Nueva York, **1**, 87, 1953.
[5] Sanger, F. *Symp. Soc. exp. Biol.*, **9**, 10, 1955.
[6] *Idem. Biochem. J.*, **39**, 507, 1945.
[7] *Idem. Ibid.*, **44**, 126, 1949.
[8] Consden, R., Gordon, A. H. y Martin, A.J. P. *Ibid.*, **38**, 224, 1944.
[9] Thompson, E. O. P. y Thompson, A. R. «Progress in the Chemistry of Organic Natural Products», **12**, 270, 1955.
[10] Tiselius, A. y Flodin, P. *Advanc. Protein Chem.*, **8**, 461, 1953.
[11] Michl, H. *Mh. Chem.*, **82**, 489, 1951.
[12] Sanger, F. y Tuppy, H. *Biochem. J.*, **49**, 463, 1951.
[13] Sanger, F. y Thompson, E. O. P. *Ibid.*, **53**, 353, 1953.
[14] Sanger, F., Thompson, E. O. P. y Kitai, R. *Ibid.*, **59**, 509, 1955.
[15] Ryle, A. P. y Sanger, F. *Ibid.*, **60**, 535, 1955.
[16] Ryle, A. P., Sanger, F., Smith, L. F. y Kitai, R. *Ibid.*, **60**, 541, 1955.
[17] Brown, H., Sanger, F. y Kitai, R., *Ibid.*, **60**, 556, 1955.

Revista de libros

ASTRONOMIA

PAYNE-GAPOSCHKIN, Cecilia: *Introduction to Astronomy.* x + 508 págs. Eyre and Spottiswoode Limited, Londres. 1956. 50s.

Aunque este libro se propone ante todo servir de texto a un curso general de astronomía, su autora espera que sirva también como introducción general a dicha ciencia para el estudiante de letras. Asimismo interesada en filología, historia y literatura, la autora se ha esforzado por señalar los diversos lazos que unen a la astronomía con esos estudios, con lo que resulta un texto más ameno que lo que acostumbran tales obras y, a nuestro parecer, de gran interés para el lector general a quien atraigan los problemas de la astronomía. Para una lectura provechosa apenas se necesitan conocimientos de matemática o física.

La astronomía moderna se interesa especialmente en el estudio de las estrellas, sus propiedades y constitución, distribución, agrupamientos en racimos y galaxias y su evolución; antiguamente el principal tema era el sistema solar y la detallada explicación de las mociones de planetas, satélites y cometas. En la mayoría de los textos antiguos se dedica poco espacio a las estrellas; en éste se restablece el equilibrio, subrayándose el estudio de las estrellas y sistemas estelares.

La obra nos presenta una reseña bien equilibrada del estado actual de la astronomía. Muchas de las doctrinas hoy corrientes acerca de la evolución estelar y galáctica son meras hipótesis que tendrán que ser abandonadas total o parcialmente. El problema es determinar si tales hipótesis deben ser incorporadas a un libro de texto: en éste se ha tenido cuidado de señalar que ciertas teorías pueden ser sólo provisionales.

El libro está muy bien ilustrado con numerosas planchas y diagramas. Las fotografías planetarias tomadas en el Observatorio Lowell y las fotografías estelares y galácticas tomadas con el reflector de 5 metros tienen especial interés.

H. SPENCER JONES

BIOLOGIA

HEILBRUNN, L. V.: *The Dynamics of Living Protoplasm.* VII + 327 págs. Academic Press Inc., Nueva York. 1956. $6,50.

El Dr. Heilbrunn ha dedicado toda su vida al estudio del protoplasma. El primer trabajo aquí citado data de 1915 y trata de los cambios físicos inducidos en los huevos del erizo de mar por métodos que conducen a la partenogénesis artificial; algunos de sus trabajos más recientes, escritos en colaboración con W. L. Wilson, se ocupan esencialmente del mismo tema: el cambio en el citoplasma del huevo durante la maduración. En este libro, el autor resume los resultados de todo este largo período de intenso estudio de la química coloidal y de las propiedades físicas del protoplasma según se dan en una gran variedad de células vivas. Es éste un libro muy personal, principalmente escrito — nos dice su autor — en el laboratorio, en los intervalos entre experimentos; quizás sus páginas contengan muestras de ser una recopilación de notas. Casi todo él está dedicado a exponer y defender las doctrinas un tanto heterodoxas de su autor. Como es sabido, Heilbrunn atribuye especial importancia a las reacciones que él afirma son de naturaleza idéntica a la coagulación de la sangre y las cuales dependen principalmente del estado del calcio en el sistema. A base de esas nociones ofrece una explicación de numerosos fenómenos importantes observados en la célula viva. Si bien pocos investigadores aceptarán sus doctrinas, nos parece de gran valor poseer una presentación completa del conjunto de sus trabajos experimentales y de las teorías que de ellos ha deducido.

C. H. WADDINGTON

BIOQUIMICA

CAHN, Théophile: *La régulation des processus métaboliques dans l'organisme.* XII + 681 págs. Presses Universitaires de France, París. 1956. Frs. 3000.

Este libro se propone estudiar el control hormonal de los procesos metabólicos relacionados con el suministro de energía. El capítulo introductorio describe los desórdenes endócrinos que pueden producirse experimentalmente mediante extirpación de los tejidos endócrinos o por la acción de toxinas específicas tales como el alloxano. El capítulo siguiente — que ocupa más de la mitad del libro — trata del transporte de los metabolitos y de su control por las hormonas. En él se estudia la fisiología del azúcar sanguíneo, de la absorción de las grasas, de los lípidos de la sangre, de las substancias nitrogenadas y, muy brevemente, de las sales inorgánicas y del agua. Sigue luego una descripción de la fisiología de la liberación de energía y de la interconversión de hidratos de carbono, grasas y proteínas. La función del sistema nervioso en el control del metabolismo, aunque mencionada brevemente, no se estudia.

El enfoque es, en todo momento, el de la fisiología clásica. Sólo en ocasiones se hace referencia a detalles de los procesos metabólicos intermediarios; las enzimas apenas se mencionan, ni siquiera en relación con el mecanismo de funcionamiento de la insulina. En el Prefacio, el autor señala que tal limitación es deliberada. La obra está centrada alrededor de las experiencias realizadas por su autor durante los últimos 25 años, y como expresión coherente de su punto de vista es, sin duda, una valiosa adición a la literatura de esta materia.

H. A. KREBS

Enzymes and Metabolism. 287 págs. Elsevier Publishing Company, Amsterdam; Cleaver-Hume Press Limited, Londres. 1956. 47s. 6d.

Esta colección de 32 trabajos originales está dedicada a Carl F. y Gerty T. Cori en ocasión de su 60º cumpleaños. Por lo menos, uno de los autores que colaboran en cada trabajo ha estado en el laboratorio de los Cori. La introducción, del Profesor Houssay, contiene un estudio de sumo interés del trabajo de los Cori durante los 35 años últimos. Si bien el estudio del metabolismo de los hidratos de carbono es el *leitmotiv* de todas sus investigaciones, su enfoque denota una extraordinaria versatilidad, que alcanza desde los trabajos fisiológicos sobre animales enteros, pasando por el estudio de los tejidos aislados, hasta la caracterización química de los metabolitos.

Esta colección de trabajos por sus colegas y discípulos refleja las actividades de los Cori y cubre una gama muy amplia de temas. Muchos de ellos son trabajos en los que se presenta el progreso general de investigaciones que se iniciaron o encontraron su inspiración en el laboratorio de St. Louis. La mayoría contienen material de lectura de gran interés para todo bioquímico.

H. GUTFREUND

BOTANICA

BÄRNER, J. (Compilador): *Bibliographie der Pflanzenschutzliteratur,* 1951. XLIV +

420 págs. Publicada por Paul Parey, Berlín, para la *Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Berlin-Dahlem*. 1955. *DM*. 38.

Esta bibliografía sobre la protección de las plantas en 1951 continúa la serie bien conocida que se publicó desde 1914 hasta 1945; los volúmenes para 1946–50 aún no han aparecido. Los 12 500 títulos que incluye contienen casi todas las obras publicadas en dicho año, pero la accesibilidad de la información no es tan buena como fuera de desear. Existe un índice de autores, pero en lugar de un índice detallado de materias hay que confiarse a un sistema de encabezamientos bajo los cuales se agrupan los títulos, bien clasificados en general. Las principales secciones tratan primeramente de las cuestiones generales, después de los organismos y de los agentes de infección, subdivididos en órdenes y familias, de las plantas y sus parásitos y de las medidas de defensa. Tal agrupamiento facilita la búsqueda de las referencias, por ejemplo, a las crucíferas como hierbas o como terapia por derivados mercuriales. Sin embargo, no es posible, por ejemplo, obtener información específica (referencias a un determinado compuesto químico o a una especie de organismo) sin conocer previamente su ubicación sistemática. Con todo, una obra de este tipo es siempre valiosa para el bibliotecario especializado. E. J. McNAUGHTON

GARRETT, S. D.: *Biology of Root Infecting Fungi*. XI + 293 págs. Cambridge University Press, Londres. 1956. 30s.

Este libro es una excelente exposición del estimulante método de enfoque de la patología vegetal que ha recibido el nombre de «garretismo» entre los discípulos y amigos del Dr. Garrett. Este comprende las enfermedades de las raíces no sólo como una interacción entre dos organismos, sino como la resultante de la interacción dentro de la matriz de factores ecológicos interactuantes. Su deseo es interesar a los biólogos, y no a los ecólogos únicamente, y es evidente, por la manera en que lleva los problemas del campo al laboratorio y los resultados de laboratorio al campo, que el Dr. Garrett posee un entusiasmo y tenacidad que bien debieran emular muchos ecólogos vegetales.

Algunos conceptos generales, tales con el potencial «inoculum», el momento micelial y la capacidad saprofítica competitiva, aparecen formulados y definidos en este libro. Esas definiciones usan frases como «energía de crecimiento», «masa efectiva» y «sumación de caracteres fisiológicos» que aunque no tengan una precisión científica enteramente aceptable, sí son gráficas y transmiten el significado buscado. Pero el lector saldrá muy ganacioso del esfuerzo por redefinir esos conceptos de manera más precisa.

J. L. HARLEY

HORSFALL, James G.: *Principles of Fungicidal Action*. XIX + 279 págs. Chronica Botanica Company, Waltham, Massachusetts; The Chronica Botanica Company, Londres. 1956. $6,50.

Este libro es continuación natural del anterior del mismo autor *Fungicides and their Action*. En él se estudian los principios de los métodos de valoración de la actividad fungicida y se presta atención a ciertos aspectos de la protección, tales como la deposición y movilidad de los depósitos de fungicida sobre las superficies vegetales. Otras secciones tratan de la penetración de los fungicidas, de los efectos de las substancias tóxicas sobre los fenómenos de crecimiento y el metabolismo fúngico, de la quelación de metales y del mecanismo de acción de numerosos tipos de fungicidas corrientes. Son de especial interés el estudio del tratamiento sistémico de las plantas y la advertencia que hace el autor del probable desarrollo de variedades de hongos resistentes.

Este libro se dirige a los especialistas y contiene gran riqueza de información, especialmente sobre los tipos de compuesto que revelan actividad. Como defecto se pueden señalar ciertas generalizaciones dudosas, una fraseología imprecisa y ciertos intentos de generalización totalmente impropios en una obra de esta naturaleza.

J. T. MARTIN

FISICA

GUILD, J.: *The Interference Systems of Crossed Diffraction Gratings. Theory of Moiré Fringes*. VIII + 152 págs. Clarendon Press, Oxford; Geoffrey Cumberlege, Londres. 1956. 25s.

Las franjas moaré, así llamadas por su semejanza a la seda tornasolada, se observan frecuentemente cuando se superponen dibujos similares y regulares. Las franjas formadas por diseños más bien toscos, como las que producen las pantallas de impresores y los cedazos, puede explicarse geométricamente, pero las formadas cruzando retículas de difracción no han sido cuidadosamente estudiadas hasta ahora, aunque sí fueron observadas por Lord Rayleigh y utilizadas por Sir Thomas Merton para la demostración de errores en las retículas.

Esta monografía significa por tanto una aventura en terreno virgen, del cual su autor nos indica con gran maestría las características más sobresalientes. Desarrolla una teoría general que explica la formación de las franjas moaré con toda clase de retículas, desde las más ordinarias a las más delicadas, y muestra que las franjas se forman a consecuencia de la interferencia de los frentes de onda difractados. Esta interferencia puede producir una gran variedad de delicados dibujos, según la distribución de energía en los diversos órdenes de difracción de las dos retículas. La explicación teórica va acompañada de una serie de fotografías que hubieran merecido una impresión en mayor formato. L. A. SAYCE

KAYE, G. W. C. y LABY, T. H.: *Tables of Physical and Chemical Constants and some Mathematical Functions* (11ª edición). VI + 233 págs. Longmans, Green and Company, Londres. 1956. 25s.

Desde su primera edición en 1911 este libro se ha considerado virtualmente indispensable en la mesa de todo trabajador y estudiante científico. Sus compiladores originales, si hoy vivieran, aprobarían esta nueva edición, preparada por un reducido comité bajo la presidencia del Profesor N. Feather. Aunque, naturalmente, con muchas alteraciones de detalle e inclusiones de nuevas tablas exigidas por los nuevos desarrollos científicos, se ha sabido conservar el espíritu de la obra original. En especial se han conservado los «breves resúmenes con referencias a los libros y trabajos que pueden consultarse provechosamente», que eran característica importantísima de las ediciones anteriores. El «Kaye y Laby» continúa pues siendo una notable obra de consulta, y mucho nos complace ver que libro tan importante tenga un precio tan razonable.

TREVOR I. WILLIAMS

Peaceful Uses of Atomic Energy. Proceedings of the International Conference in Geneva, August 1955. Vol. XV, *Applications of Radioactive Isotopes and Fission Products in Research and Industry*. VIII + 327 págs. United Nations, Nueva York; Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1956. 54s.

Como los demás volúmenes de esta serie, éste es de excelente preparación y presentación. Hasta los científicos que tomaron parte en la Conferencia pueden beneficiarse de la lectura de este volumen, ya que contiene además la mitad de las ponencias que no pudieron leerse en Ginebra. No contiene muchos datos nuevos, como puede suponerse, ya que la publicación de las investigaciones sobre los isótopos no estuvo nunca prohibida y había sido ya objeto de discusiones en las anteriores conferencias sobre isótopos. Sin embargo, los 48 trabajos ofrecen un estudio representativo de esta materia, pero con escasas referencias a la utilización de los isótopos y productos de fisión en numerosos campos de actividad.

Una tercera parte de la obra trata de los isótopos aplicados a la investigación, como en el estudio de las reacciones químicas y catalizadas, el análisis, los fenómenos de absorción, la autorradiografía y la difusión. La segunda parte trata del uso de los isótopos para medidas de control y en la tecnología y debe ser muy útil en numerosas industrias. La sección final se ocupa de la aplicación de los productos de fisión, aún en la fase de investigación y desarrollo. Se estudia el uso de las radiaciones ionizantes en numerosas actividades, subrayándose sobre todo su empleo en la esterilización de los alimentos. H. SELIGMAN

PRZIBRAM, Karl: *Irradiation Colours and Luminescence.* (Traducido al inglés y revisado por J. E. Caffyn.) XIV + 332 págs. Pergamon Press Limited, Londres. 1956. 63s.

Esta versión aumentada de la tercera edición alemana de 1953 tiene gran interés histórico. Recoje gran cantidad de datos sobre los minerales de coloración natural y sobre los efectos artificiales similares en los cristales sintéticos. Las secciones descriptivas son demasiado extensas y detalladas, con lo que se dificulta su lectura. El traductor ha realizado una gran labor para modernizar esta obra, pero no ha podido alterar el tono anticuado de la misma, que ha de fatigar un poco al lector moderno. Así, el tratamiento de la luminiscencia se basa excesivamente en ideas antiguas; las numerosas referencias añadidas no podían tratarse adecuadamente sin mucho mas espacio.

La Parte I trata de los métodos experimentales, la producción y eliminación de los centros de color en los cristales sintéticos, y los principios teóricos con ello relacionados. La luminiscencia se estudia principalmente en la termoluminiscencia de los cristales coloreados, y la fotoluminiscencia en los centros generados por radiación. La Parte II describe los minerales naturales, especialmente la sal gema y la fluorita, y desarrolla el principio general de que la radiactividad natural es la causa de las coloraciones observadas. Las secciones más valiosas son quizás las que tratan de la radiactividad natural, los activadores de tierras raras y los halos pleocroicos. Tambien es útil la lista de referatas, que contiene unas 1300 entradas. S. T. HENDERSON

GEOFISICA

AHRENS, L. H., RANHAMA, Kalervo y RUNCORN, S. K. (Compiladores): *Physics and Chemistry of the Earth.* Vol. I. VIII + 317 págs. Pergamon Press Limited, Londres. 1956. 55s.

Este es el primer volumen de una nueva serie que debe tener gran interés para geofísicos y geoquímicos. Contiene ocho trabajos que cubren una amplia variedad de temas, haciendo un estudio general de cada uno de ellos. Para el geofísico o geoquímico altamente especializado, este volumen no descubrirá nada nuevo, pero sí servirá como útil obra de consulta, ya que cada colaborador cita numerosas fuentes y proporciona una buena bibliografía.

Sir Harold Spencer Jones aporta un breve resumen de las diversas teorías del origen del sistema solar, desde Kant y Laplace hasta las más modernas doctrinas de Alfvén y Kuiper. J. Verhoogen nos presenta un interesante estudio de las más recientes ideas y datos referentes al estado térmico del centro de la Tierra; este trabajo va complementado por otro de K. E. Bullen, que estudia la estructura general del interior de la Tierra, con especial referencia a la distribución de densidades. L. H. Ahrens trata de los diversos métodos para determinar la edad geológica por medio de los cocientes isotópicos, incluyendo las más modernas investigaciones sobre los isótopos potasio — argón, estroncio — rubidio y plomo. R. Hide estudia la hidrodinámica del núcleo terrestre, con especial referencia a la posibilidad de que las mociones flúidas sean la causa del campo magnético terrestre. R. Roy y O. F. Tuttle tratan de los resultados de los experimentos llevados a cabo bajo condiciones hidrotérmicas, que presentan especial interés para minerálogos y geólogos. C. W. Correns describe los trabajos sobre la geoquímica de los halógenos, y S. I. Tomkeieff presenta una extensa reseña y bibliografía de los recientes estudios geoquímicos en la Unión Soviética. P. M. DU BOIS

INGENIERIA

GLASSTONE, Samuel: *Principles of Nuclear Reactor Engineering.* IX + 861 págs. Macmillan and Company Limited, Londres. 1956. 60s.

Esta es una obra de buena autoridad, patrocinada por la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, que significa una importante adición a la creciente literatura sobre la ingeniería relacionada con la energía nuclear. Está destinada a los ingenieros ya en ejercicio y los estudiantes de los últimos años e investigadores en cuestiones de ingeniería. Su autor ha contado con la ayuda del personal del Laboratorio de Oak Ridge y ha podido reunir un estudio amplio y completo de las bases científicas del diseño, construcción y operación de los reactores.

Casi una tercera parte del libro trata de los fundamentos físicos de los reactores, con capítulos sobre los aspectos más significativos de las reacciones nucleares y de las radiaciones y sobre la teoría de los reactores en condiciones de equilibrio y desequilibrio. Los aspectos específicos de los reactores aparecen luego tratados en debido turno: instrumentación y control, procesado químico del combustible, materiales, defensa contra las radiaciones, corazas, y generación y transferencia térmicas. Hay un capítulo sobre las variaciones del diseño, en el que se estudian muchos tipos posibles de reactores y se describe toda una serie de instalaciones especiales.

El contenido de la obra está muy bien ordenado. Cada capítulo va seguido de definiciones de los símbolos usados en el texto y de una serie de problemas. Contiene además numerosas referencias y sugestiones para lecturas más especializadas, y un buen índice. T. G. PICKAVANCE

METALURGIA

Peaceful Uses of Atomic Energy. Proceedings of the International Conference in Geneva, August 1955. Vol. IX, *Reactor Technology and Chemical Processing.* X + 771 págs. United Nations, Nueva York; Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1956. 70s.

Este volumen es de especial interés para el químico y metalúrgico. Trata del aspecto metalúrgico y fabril de los

combustibles como medios de transferencia de calor líquido-metálicos, y de los problemas químicos de la energía atómica, tales como la corrosión, procesado del combustible y productos de fisión y las dificultades de la eliminación de subproductos.

Casi todo el material tratado se consideró secreto hasta la fecha de la Conferencia de Ginebra. El costo de las investigaciones descritas debe de haber alcanzado a millones de libras. Por tal razón, el origen de las ponencias tiene interés: 53 proceden de los Estados Unidos, 16 de Gran Bretaña, 16 del resto de Europa, y sólo 3 de Rusia, proporción insignificante si se compara con la aportación soviética a temas menos secretos, como los estudios sobre la radiación y las investigaciones sobre los isótopos.

Para el científico o tecnólogo interesado en cuestiones de energía atómica, casi todos los trabajos tienen gran valor. Además se ha explorado gran número de temas nuevos, tales como la química y metalurgía de los elementos más raros, nuevos métodos de análisis químico y nuevos procedimientos de ingeniería química, especialmente para la separación y purificación de sales inorgánicas por extracción en disolventes. Muchos de estos procesos originales, ahora que son ya bien conocidos, pueden aplicarse a otras ramas de la investigación y de la industria. E. GLUECKAUF

QUIMICA

ADAM, N. K.: *Physical Chemistry*. XII + 658 págs. Clarendon Press, Oxford; Geoffrey Cumberlege, Londres. 1956. 50s.

Este libro del Profesor Adam ha causado gran expectación, y, como era de esperar, es una gran obra en cuanto a su claridad y exactitud, y sobre todo en cuanto al equilibrio entre la teoría y la experimentación. Muchas secciones tienen breves introducciones históricas, excelentes en su alcance y presentación. El autor de todo texto general de química física tiene que decidir la selección y ordenación de los temas y la cantidad de espacio para cada ejemplo, cuestiones todas sobre las que es seguro que nunca estarán de acuerdo dos químicos. A muchos les parecerá equivocado que este libro sólo contenga rápidas referencias a la teoría quántica moderna: por ejemplo, la ecuación de Schrödinger no está resuelta ni siquiera para los sistemas más simples, aunque se incluyen por entero algunas derivaciones clásicas de moderada complejidad. Se estudia muy plenamente la estructura de los sólidos (50 páginas), con muchos ejemplos, mientras que toda la termodinámica y la mecánica estadística ocupan sólo 73 páginas e incluyen muy pocos ejemplos. De igual manera, el número de ejemplos de las reacciones fotoquímicas y del comportamiento de los coloides puede parecer excesivo para un libro de este tamaño. R. P. BELL

CAIRNS, T. L. (Compilador): *Organic Syntheses*, Vol. XXXV. VI + 122 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1955. 30s.

El presente volumen estudia en detalle la síntesis de 36 compuestos orgánicos. El inmenso crecimiento de la química orgánica en los últimos años hace que algunas de las preparaciones descritas sean de un interés algo limitado; sin embargo, las síntesis son a veces importantes aplicaciones de nuevos métodos y reacciones. Por otra parte, se incluyen métodos mejorados para la producción de substancias corrientes. En las preparaciones se indican los aparatos y productos químicos disponibles en los Estados Unidos, lo que a veces nos da una idea de la riqueza del material de que allí se dispone.

Como es común en esta serie, el estilo es claro y muy bien adecuado al propósito de esta obra; la impresión, el papel y la encuadernación son excelentes. J. C. SMITH

GUSTAVSON, K. H.: *The Chemistry and Reactivity of Collagen*. IX + 342 págs., y GUSTAVSON, K. H.: *The Chemistry of Tanning Processes*. IX + 403 págs. Academic Press Inc., Nueva York; Academic Books Limited, Londres. 1956. $8 y $9 respectivamente.

En el primer libro, el autor hace uso de sus extensas investigaciones sobre el colágeno, en forma de pieles y cueros, para suministrar las bases sobre las cuales se desarrolla un excelente estudio de los actuales conocimientos sobre su estructura y reactividad, que tiene fundamental interés para la bioquímica, medicina y tecnología del cuero. La función de la técnica de rayos X, la microscopía electrónica y al birrefringencia para revelar la estructura del colágeno estan estudiadas lúcidamente, mostrando los progresos posteriores a las primeras investigaciones de Astbury. Otros capítulos tratan de los puntos isoeléctricos del colágeno y sus reacciones con ácidos y bases. La relación entre el enlace interno de la molécula del colágeno y su hidración queda claramente demostrada al estudiar los efectos de Donnan y liotrópico. Algunos capítulos muy valiosos estudian el encogimiento térmico del colágeno y su relación con las reacciones de entrelazamiento, así como la inactivación de grupos específicos para el estudio de su reactividad.

El segundo libro, que tiene un interés menos general, trata de los procesos químicos fundamentales del curtido, pero no describe los cambios que se producen en las pieles durante su conversión en cuero. Sin embargo, los capítulos que tratan de la química del curtido con cromo, los efectos de las sales neutras y agentes de acomplejamiento y la naturaleza del compuesto cromo-colágeno son de mérito notable. El libro contiene datos muy interesantes sobre el curtido vegetal, pero no se subrayan suficientemente los factores, tales como las sales de tamponado, que controlan dicho proceso. También se estudian los curtidos «Syntan», con aldehido, quinona, aceite y de combinación. El capítulo final es una importante contribución al conocimiento de los mecanismos del proceso de la curtiembre en el reino animal y tiene por tanto importancia para la ciencia biológica y médica. D. BURTON

MICOVIC, V. M. y MIHAILOVIC, M. L.: *Lithium Aluminium Hydride in Organic Chemistry*. XI + 193 págs. Serbian Academy of Sciences, Belgrado. 1955. $3.

Esta monografía de la Universidad de Belgrado aparece cinco años después del artículo de W. G. Brown en *Organic Reactions*, Volumen VI. El hidruro de litio y aluminio fue preparado por primera vez por el Profesor Schlesinger y sus colaboradores en Chicago hace sólo diez años; su notable poder como agente reductor fue descrito originalmente por Nystrom y Brown en 1947–48. Sin embargo, sus ventajas sobre los demás agentes de reducción es tal que en la actualidad es el reactivo preferido. La presente monografía contiene 1732 referatas hasta octubre de 1954.

El hidruro de litio y aluminio contiene una gran proporción de oxígeno disponible y reduce fácilmente muchos grupos funcionales en solución etérea fría, sin que se produzcan, por lo general, reacciones laterales. Es sorprendente que los ácidos carboxílicos y

los ésteres puedan quedar así reducidos a alcoholes primarios, y que las condiciones sean tan suaves que no se produce la racemización de centros ópticamente activos. Este libro será de gran valor para todo el que desee hacer uso del hidruro. Cinco secciones tratan del reactivo y de las condiciones para su uso; las 19 siguientes describen la reducción de un grupo determinado. Entre éstos se encuentran los compuestos carbonílicos, ácidos, ésteres, lactonas, amidas, epóxidos, peróxidos, nitrilos y compuestos nitrogenados, halogenos y sulfurados. Cada sección contiene ejemplos generosamente ilustrados con fórmulas y numerosas referatas. Estos estudios parecen cubrir toda esta materia. El libro termina con una sección sobre el mecanismo de las reducciones, un índice completo de referatas y un buen índice de materias.

W. BAKER

PASCAL, Paul (Compilador): *Nouveau traité de chimie minérale.* Vol. I: *Généralités, air, eau, hydrogène, deutérium, tritium, hélium et gaz inertes.* XII + 1101 págs. Masson et Cie., París. 1956. En rústica, Frs. 7500; en tela, Frs. 8400.

No podemos menos de expresar admiración por el espíritu de iniciativa de que dan muestra los editores de esta obra, la cual, una vez completa, constará de 19 volúmenes, que han de aparecer a intervalos entre 1956 y 1960. Colabora con el compilador un grupo de expertos que estudiarán la química de los elementos a la luz de las modernas nociones de la estructura atómica y molecular. Los detalles técnicos referentes a los procesos industriales se tratarán como material de interés secundario, ya que se considera que toda esta información puede obtenerse en publicaciones especializadas. La base de la clasificación es, esencialmente, la Tabla Periódica, que es la ordenación más satisfactoria para mostrar las relaciones entre los elementos. El primer volumen de la serie contiene una introducción general de 384 páginas, que tratan de temas generales tales como el uso de los diagramas en la química, los isótopos estables y radiactivos de los elementos, la estructura del átomo, y los aspectos capitales de la moderna química estructural. Los diversos capítulos van ilustrados con excelentes diagramas, y la información en ellos contenida es clara y concisa. El resto del Volumen I contiene detallados estudios del aire, agua, hidrógeno, deuterio, tritio, helio y gases inertes. Todos los datos presentados han sido escogidos con un rígido criterio crítico, y lo mismo puede decirse de la información cuantitativa. De particular valor son las referatas que se encuentran al final de cada capítulo.

W. WARDLAW

Peaceful Uses of Atomic Energy. Proceedings of the International Conference in Geneva, August 1955. Vol. VII, *Nuclear Chemistry and the Effects of Irradiation.* 691 págs. United Nations, Nueva York; Her Majesty's Stationery Office, Londres. 1956. 70s.

Este volumen recoje 86 trabajos de la Conferencia de Ginebra de 1955 y de los debates que siguieron a las ponencias. Debe considerarse, por lo tanto, esencialmente como una obra de consulta para los especialistas, aunque quizás sea sobre todo valiosa para los investigadores en la esfera de lo que tradicionalmente se llama «energía atómica» que sin ser especialistas en química nuclear deseen estar informados de los resúmenes, datos y cifras que contienen estas páginas. En general, los investigadores químicos se interesarán en el estudio sobre la fisión nuclear por Steinberg y Glendenin y en los trabajos sobre la formación y propiedades químicas de los nuevos elementos (transuránicos). Los químicos inorgánicos podrán consultar el trabajo sobre el intercambio aniónico, por Kraus y Nelson. Los trabajos japoneses sobre el «fall-out» radiactivo son significativos, aparte de su contenido radioquímico. A los especialistas les causará quizás alguna irritación la elección de títulos y la curiosa mezcla en el contenido. La Química Nuclear y los Efectos de la Irradiación (que quiere decir «química de las radiaciones») son materias muy diferentes. Muchos trabajos no pertenecen a ninguna de ellas; así, ni la manipulación a distancia, ni el diseño de laboratorios, ni las separaciones y propiedades químicas forman parte de la química nuclear por el mero hecho de que traten de substancias radiactivas. Sin embargo, los lectores menos especializados recibirán bien dicha mezcla.

F. BROWN

PHILLIPS, Courtenay: *Gas Chromatography.* X + 105 págs. Butterworths Scientific Publications, Londres. 1956. 25s.

El brillante éxito del método cromatográfico gas-líquido introducido por Martin y James en 1952 ha tendido a obscurecer el hecho de que la cromatografía se practicaba ya con éxito mucho antes. La presente obra, estudio claro y equilibrado por uno de los iniciadores de este procedimiento, tiene por tanto gran valor. El libro, aunque modesto de tamaño y de calidad de producción — más de lo que su precio parece indicar — contiene sin embargo gran cantidad de datos y una bibliografía lo bastante completa para satisfacer las necesidades del investigador. La amplitud del método está definida con toda claridad, no menor que la de la descripción de las diversas técnicas experimentales hoy en uso. El tratamiento teórico no es muy detallado, pero sí lo suficiente para facilitar la comprensión del funcionamiento de la columna bajo diversas condiciones.

TREVOR I. WILLIAMS

TREYBAL, Robert E.: *Mass-transfer Operations,* IX + 666 págs. McGraw-Hill Book Company, Londres. 1955. 71s. 6d.

Las operaciones industriales se hallan frecuentemente relacionadas con sistemas en los que se producen cambios interrelacionados de estado físico y composición química, acompañados de transferencias de energía y de masa de una parte a otra del sistema. Los cambios individuales se producen a velocidades características determinadas por fuerzas de impulsión que, en el caso de la transferencia de energía, pueden ser diferencias de temperatura, y, en el caso de las transferencias de masa, gradientes de concentración. Uno de los fines de la ingeniería química es determinar el mecanismo según el cual se producen dichos cambios y asignar a éstos valores cuantitativos.

El libro del Profesor Treybal se dirige primordialmente a los estudiantes universitarios y, por lo tanto, hace uso, clara y simplemente, del enfoque cuantitativo de las operaciones de transferencia de masa. Los cinco primeros capítulos tratan de la teoría de la difusión y transferencia de masas sobre la que se basa el posterior tratamiento de las operaciones gas-líquido, líquido-líquido y sólido-flúido. Un breve estudio de las normas corrientes en la construcción de plantas industriales sirve para añadir un elemento real al tratamiento teórico.

A pesar de que la importancia que se da a los distintos temas no está siempre bien repartida, y de algunas omisiones notables, el libro está equilibrado y es de un alcance bastante completo.

D. M. NEWITT

Revistas resumidas de libros

(Estas revistas tienen carácter descriptivo más bien que crítico y sirven para dar una indicación general del contenido y naturaleza de las obras tratadas.)

HEITLER, W.: *Elementary Wave Mechanics* (2ª edición). VIII + 193 págs. Clarendon Press, Oxford; Cumberlege, Londres. 1956. 18s.

Segunda edición de un libro no especializado en matemáticas, cuyo éxito lo demuestran las cinco reimpresiones desde su aparición en 1945. La nueva edición incluye una sección sobre las moléculas diatómicas, en la que los capítulos sobre los enlaces químicos se han extendido mucho. También se ha añadido una sección sobre la ecuación ondular dependiente del tiempo.

MOORE, W. J.: *Physical Chemistry* (2ª edición). XII + 633 págs. Longmans, Green and Company, Londres. 1956. 30s.

Este texto se publicó primeramente en 1950 y se destina a los estudiantes de ciencias e ingeniería. No es enteramente elemental pues supone en el lector conocimientos de cálculo infinitesimal y un estudio ya algo avanzado de física y química. La nueva edición sigue las líneas generales de la primera, pero se han introducido en cada capítulo correcciones de detalles y cambios de presentación. Se ha añadido un capítulo sobre fotoquímica y se describen los progresos recientes en el estudio de las estructuras nucleares, atómicas y moleculares.

CUMMING y KAY: *Quantitative Analysis* (11ª edición, revisada por CHALMERS, Robert Alexander). XVI + 540 págs. Oliver and Boyd, Edimburgo. 1956. 30s.

Este conocido texto de análisis químico cuantitativo está destinado primordialmente a los estudiantes universitarios. La última edición apareció en 1948, y ésta representa un revisión completa. Las principales alteraciones son la nueva redacción de la sección sobre colorimetría y la adición de un breve estudio de la teoría de la precipitación y contaminación de los precipitados. Otra innovación es la inclusión de breves listas bibliográficas.

FIESER, Louis F. y FIESER, Mary: *Organic Chemistry* (3ª edición). V + 1112 págs. Reinhold Publishing Corporation, Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 50s.

Tercera edición de un conocido texto de química orgánica, muy revisada — y en partes vuelta a redactar — para recoger los progresos realizados tanto en la teoría como en la práctica desde la aparición de la segunda edición en 1950. Se ha aumentado el número de mecanismos de reacción estudiados, los cuales se tratan al mismo tiempo que las reacciones. Una característica del libro, adaptada de la traducción alemana de la segunda edición, es la inclusión de unas 450 estudios biográficos breves de los químicos más importantes cuyo trabajo se reseña.

GRAFF, Samuel (Compilador): *Essays in Biochemistry*. X + 345 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 52s.

Estos 27 estudios, que cubren un campo muy amplio fueron escritos en honor de Hans Clarke por algunos de sus antiguos discípulos y colegas con motivo de su jubilación. Principalmente, no se trata ni de reseñas ni de informes sobre experimentos. Algunos son evaluaciones críticas de problemas bioquímicos contemporáneos, otros son abiertamente especulativos: todos son interesantes e incluyen extensas bibliografías.

THORPE, W. H.: *Learning and Instinct in Animals*. VIII + 493 págs. Methuen and Company Limited, Londres. 1956. 55s.

En años recientes, las investigaciones etiológicas han seguido principalmente dos direcciones distintas. O bien se ha estudiado el instinto, principalmente en Europa, o bien, en América, utilizando animales criados en el laboratorio, la capacidad de aprender de los mismos. Este libro representa un esfuerzo para integrar ambos enfoques. La primera parte trata de los principios generales, mientras el resto estudia la parte que representa el aprendizaje en la organización del comportamiento de los principales grupos de animales, desde los protozoos a los mamíferos.

CONSTANTIN-WEYER, M.: *The Private Life of Fishes*. 149 págs. Richard Bell, Londres. 1956. 15s.

Estudio de la vida y costumbres de los peces escrito en un estilo popular y destinado principalmente a naturalistas y pescadores, pero interesante también para el lector general. Entre los temas estudiados están la cría, desarrollo, migraciones y visión de los peces.

WOLSTENHOLME, G. E. W. (Compilador): *Histamine: Ciba Foundation Symposium*. En honor de Sir Henry Dale. XVI + 472 págs. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1956. 50s.

En este libro se recogen las ponencias y discusiones de una reunión internacional de fisiólogos y farmacólogos en Londres en 1955. Se divide en dos partes. Primera, los debates de un simposio organizado conjuntamente por las Sociedades de Fisiología y Farmacología; segunda, una reunión sobre el mismo tema patrocinada por la Ciba Foundation. Trata del progreso reciente de las investigaciones en el estudio de la histamina y substancias afines.

WOLSTENHOLME, G. E. W. y O'CONNOR, Cecilia M. (Compiladores): *Ciba Foundation Colloquia on Endocrinology*, Vol. IX, *Internal Secretions of the Pancreas*. XII + 292 págs. J. and A. Churchill Limited, Londres. 1956. 40s.

Recoge las ponencias y discusiones de un coloquio sobre secreciones internas del páncreas organizado por la Ciba Foundation y celebrado en Londres en Junio de 1955. Los trabajos cubren un amplio campo. Este volumen ha de ser de gran interés para los investigadores en medicina, biología y bioquímica.

CAMPBELL, I. E. (Compilador): *High-temperature Technology*. XIV + 526 págs. John Wiley and Sons Inc., Nueva York; Chapman and Hall Limited, Londres. 1956. 120s.

El simposio sobre «Los materiales, métodos y medidas a altas temperaturas» organizado por la Sociedad de Electroquímica en Wáshington en 1951 indicó la necesidad de un trabajo de integración en la tecnología de las altas temperaturas. Este libro, que recoge los trabajos de 35 investigadores se propone cumplir ese propósito. Describe los nuevos materiales, los métodos de producción y la medida de las propiedades físicas. En general, por altas temperaturas se entienden aquí las superiores a 1500°C.

Notas sobre los colaboradores

F. P. BOWDEN

Nació en Tasmania en 1903, y en 1927 ingresó en la Universidad de Cambridge, donde en la actualidad es Director de Estudios y Profesor de Química Física. Durante la guerra estuvo al servicio del Gobierno australiano y fundó en Melbourne el Laboratorio de Tribofísica de la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. Sus investigaciones tratan de las propiedades de los metales y de las superficies sólidas y de la descomposición en el estado sólido. Es autor de *The Friction and Lubrication of Solids* (en colaboración con el Dr. D. Tabor) y *The Initiation and Growth of Explosion in Liquids and Solids* (con el Dr. A. Yoffe). Es Vicepresidente de la *Faraday Society* y en fecha reciente recibió las Medallas «Cresson» y «Redwood» del *Franklin Institute* (Estados Unidos) por sus trabajos sobre la fricción.

N. MILLOTT

Nació en 1912 y estudió en las Universidades de Sheffield, Mánchester y Cambridge. Desde 1937 a 1947 fue profesor de zoología de la Universidad de Mánchester. En 1948 fue nombrado Catedrático de zoología de la Universidad de las Indias Occidentales, de la que en 1955 pasó a una cátedra de zoología de la Universidad de Londres. Sus primeras investigaciones trataban del sistema digestivo de los moluscos nudibránquios y fueron seguidas por trabajos sobre el control nervioso visceral en *Lumbricus*. En los ocho últimos años ha estudiado la sensibilidad a la luz y la pigmentación en diversos animales, especialmente en los equinoideos.

E. N. DA C. ANDRADE

Nació en Londres en 1887 y estudió en las universidades de Londres, Mánchester y Heidelberg, y en el Laboratorio Cavendish de Cambridge. En 1928 fue nombrado catedrático de física de la Universidad de Londres, donde estableció una escuela de física, conocida por sus investigaciones fundamentales sobre las propiedades mecánicas de los estados sólido y líquido. En enero de 1950 fue nombrado Director de la *Royal Institution of Great Britain* y del Laboratorio de Investigaciones Davy–Faraday, cargos a los que renunció en 1952. Es Miembro correspondiente de la *Académie des Sciences, Institut de France*.

J. M. M. PINKERTON

Nació en Londres en 1919 y estudió en la Universidad de Cambridge. Durante la guerra trabajó en el Centro de Investigaciones sobre Telecomunicaciones, Swanage y Malvern, en relación con los proyectos de radar. Regresó a Cambridge en 1945 para realizar investigaciones sobre física ultrasónica en el Cavendish Laboratory. Desde 1949 ha estado encargado de la dirección del desarrollo del sector mecánico de los computadores electrónicos LEO I y LEO II. Sus publicaciones incluyen varios trabajos sobre la absorción ultrasónica en los líquidos y sobre los computadores electrónicos.

JAMES PATON

Nació en 1903 y estudió en la Universidad de Edimburgo. Después de trabajar un año en el Servicio Meteorológico, ingresó como profesor en el Departamento de Filosofía Natural de la Universidad de Edimburgo en 1928. Es Miembro Correspondiente (Sección IV) del Comité Nacional Británico del Año Geofísico Internacional y Director de la Sección de Auroras y Luz Zodiacal de la *British Astronomical Association*.

F. SANGER

Nació en 1918 y estudió en la Universidad de Cambridge. Desde su graduación en 1939 ha realizado investigaciones en el Departamento de Bioquímica de la Universidad de Cambridge. Desde 1944 a 1951 detentó la Bolsa de Estudios «Beit» para investigaciones médicologicas, y desde esta fecha es miembro del personal externo de investigaciones del *Medical Research Council*. Sus trabajos se han relacionado principalmente con la estructura química de las proteínas, principalmente de la insulina.

L. F. SMITH

Nació en 1927 y estudió en el Imperial College de Londres. Ha realizado investigaciones sobre la química de las lanas en el Imperial College antes de trasladarse al Departamento de Bioquímica de la Universidad de Cambridge, donde en la actualidad es miembro del personal externo de investigaciones del *Medical Research Council*.